ISSN 0040-1714

TÉCNICA 02

Revista de Engenharia

2014

aeist
associação dos estudantes
instituto superior técnico

Distribuição Gratuita

O Banco Mais Sólido

O Banco Mais Rentável

O Melhor Grande Banco

O BPI foi designado, na categoria Grandes Bancos, o Banco Mais Sólido, o Banco Mais Rentável e o Melhor Grande Banco no exercício de 2012, de acordo com a classificação Banca & Seguros organizada pela Revista Exame, a Informa D&B Portugal e a Deloitte.

- Rentabilidade dos Capitais Próprios
- Rendimento Integral/Capitais Próprios
- Produto Bancário sobre o Activo
- Cost-to-Income
- Custo do Risco de Crédito em Resultados
- Rácio de Crédito em Incumprimento
- Rácio de Requisitos de Fundos Próprios
- Rácio de TIER I
- Responsabilidades com Pensões
- Crescimento dos Recursos Captados
- Crescimento do Produto Bancário
- Crescimento do Crédito Concedido a Clientes

BANCA & SEGUROS
Exame
2013

A classificação do BPI não é a escolha de um júri, mas o resultado da análise destes 12 indicadores económico-financeiros pela Deloitte com a colaboração da Informa D&B Portugal.

BPI

ÍNDICE

05 EDITORIAL

06 Crystalline Silicon Homojunction Solar Cells using the Pre-Deposition of Amorphous Silicon _ A. de Calheiros Velozo, G. Lavareda, C. Nunes de Carvalho, A. Amaral

08 Amaral Gestão dos produtos da queima do carvão em centrais térmicas, em Portugal e na Europa* _ Fernando Manuel Caldas Vieira, Maria José Resende

14 Uma abordagem termodinâmica à entropia de buracos negros _ Gonçalo Martins Quinta

18 Urban rainwater QUALITY _ Vale, André Baptista Mendes Horta do

24 Modelo Semi-Empírico para Vibrações Induzidas por Desprendimento de Vórtices em Torres Altas Circulares

33 Entrevista_ Leonor Guedes da Silva

36 Centros de Investigação do IST

FICHA TÉCNICA:
TÉCNICA, Revista de Engenharia
ISSN 0040-1714
Distribuição gratuita limitada ao stock existente

Propriedade
Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico
Av. Rovisco Pais, 1 – 1049-001 Lisboa, Portugal
Tel: 218 417 248 . Fax:218 417 250
e-mail: aeist@ist.utl.pt
website: http://www.aeist.pt

Administração
e-mail: TECNICA@aeist.pt

Concepção Gráfica
The Lab
Rua Eduardo Bairrada, 3º B, 1300-212 Lisboa, Portugal
e-mail: geral@thelab.pt
Website: www.thelab.pt

aeist
associação dos estudantes instituto superior técnico

BPI

ipdj
INSTITUTO PORTUGUÊS DO DESPORTO E JUVENTUDE, I. P.

EDITORIAL

Pedro Sereno

Presidente da AEIST

Prossegue a edição da Revista Técnica, 98 anos após o seu primeiro lançamento. Desde o seu primeiro número (cuja cópia poderá ser consultada sob pedido na Direcção da AEIST) a Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico fez questão de lhe impor um carácter de seriedade e profissionalismo que rapidamente foram atingidos, conseguindo que a mesma fizesse uma transição natural do microcosmos IST para o macrocosmos Nacional e Internacional através do reconhecimento do mérito a si associado. Prova disso são as cartas imediatas que a AEIST recebeu aquando do relançamento da Edição de Março 2013, com pedidos de assinaturas de Angola e do Brasil, mercados emergentes na área da engenharia.

Cabe-nos então agora dar continuidade a este trabalho, continuado de geração em geração, recolhendo testemunhos nas mais variadas formas da Arte da Engenharia, através do incentivo e divulgação do que melhor se faz no Instituto Superior Técnico. Que estes artigos sirvam como exemplo das apostas correctas e necessárias na formação académica de investigação e inovação, com potencial para reverter o actual estado do País. Que se torne o Ensino o topo das prioridades do poder político português, e se assuma, pelas suas potencialidades inequívocas, que a Engenharia servirá como pilar fundamental neste processo de revitalização do País.

Susana Maia

Co-editora da 2ª Edição da Revista Técnica/ 2ª Secretária da Mesa da Assembleia Geral de Alunos (MAGA) Mandato 13/14

"A Natureza é exatamente simples, se conseguirmos encará-la de modo apropriado... Essa crença tem-me auxiliado, durante toda minha vida, a não perder as esperanças, quando surgem dificuldades de investigação." em O Pensamento Vivo de Einstein.

Estando agora a desenvolver a minha Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, percebo a dificuldade que investigar sobre um tema e a facilidade de desistir de o fazer. É por isso necessário valorizar e apoiar o trabalho de investigação que faz parte do dia-a-dia das Universidades e que tanto contribui para o desenvolvimento científico e tecnológico do país.

Foi com vontade de promover este trabalho que me comprometi, como membro da Direcção da AEIST no mandato 2012/13, a retomar a edição da revista de divulgação científica da Associação dos Estudantes, a Técnica. E assim foi, no início de Março de 2013 saiu a 1ª edição do regresso da Revista, constituída por artigos cedidos por alguns Centros de Investigação do IST, entre os quais destaco " Mira Fernandes e Física-Matemática na Fundação e Consolidação da Revista Técnica" por José Pizarro de Sande e Lemos, Professor Catedrático do Técnico e membro do Centro Multidisciplinar de Astrofísica (CENTRA), artigo no qual se fala sobre os contributos do Matemático Mira Fernandes para a Revista.

Agora é com muito prazer e orgulho que escrevo o editorial da 2ª edição da Técnica e aproveito-o para deixar o meu agradecimento a todos os contribuíram para o seu regresso: aos membros da Direcção da AEIST do mandato 2012/13, em especial aos do Pelouro da Informação, Diogo Ribas, Carolina Fernandes, Eduardo Passos, Filipe Henriques e Merlin Vieira; aos funcionários que ajudaram na disponibilização da Revista nos vários Serviços da AEIST e por último um muitíssimo obrigado aos autores dos artigos porque sem a sua contribuição o regresso da revista Técnica não teria sido possível. Quero ainda felicitar a actual Direcção da Associação dos Estudante do IST por dar continuidade a este projecto que tanto impulsionou a investigação científica desenvolvida na nossa Instituição.

Crystalline Silicon Homojunction Solar Cells using the Pre-Deposition of Amorphous Silicon

A. de Calheiros Velozo a, G. Lavareda b,c,*, C. Nunes de Carvalho b, d, A. Amaral b, d

[a] Dept. de Física, Instituto Superior Técnico (UTL), Av. Rovisco Pais 1,1049-001 Lisboa, Portugal
[b] Dept. de Ciência dos Materiais, Faculdade de Ciências e Tecnologia (UNL), 2825-114 Caparica, Portugal
[c] Centro de Tecnologias e Sistemas, Faculdade de Ciências e Tecnologia (UNL), 2825-114 Caparica, Portugal
[d] Inst. Ciência e Engenharia de Materiais e Superfícies, Instituto Superior Técnico (UTL), Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal

Abstract

A novel method is developed for producing crystalline silicon pn homojunctions, using doped amorphous silicon as source for the dopant diffusion. A highly phosphorus doped thin layer of hydrogenated amorphous silicon was pre-deposited by plasma enhanced chemical vapour deposition on a p-type doped c-Si wafer. Samples were then heated to high temperatures for the P to diffuse from the amorphous to the crystalline silicon, creating the pn homojunction. A J(V) characteristic curve under AM1 equivalent conditions was obtained, reading an efficiency of 5.2 %.

Work Overview

Crystalline silicon (c-Si) wafer pn homojunctions are conventionally produced by a two-step process – i) the deposition of a dopant dose and ii) the dopant drive-in. The first step is normally made by one of two methods, the dopant pre-deposition at high temperature or the ionic implantation. In the dopant pre-deposition method, a thin layer of a highly concentration dopant compound originated from a solid, liquid or gas source, is deposited on the c-Si by heating the wafer to high temperatures (>800 °C), to increase the dopant solid solubility in silicon. The relatively low production cost achieved using this method makes it the most used by the c-Si photovoltaic industry at the moment. On the other hand, the ionic implantation involves injecting the dopant directly into the wafer, which requires relatively expensive equipment, but also allows for enhanced quality junctions and good process control. In this work, an alternative method has been found for producing crystalline silicon homojunctions.

Phosphorus doped hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H) was pre-deposited by Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (PECVD) on a boron doped c-Si Cz <100> wafer (ρ = 1.6 Ω.cm). The PECVD deposition was done using a constant total gas flow of 25 sccm composed mainly of silane and phosphine (0.06 % of the total flow) during 1 min at RF power P_{RF} = 62 mW/cm^2 and substrate temperature T = 350°C. The resulting film has a thickness of 58 nm, measured by profilometer, and hydrogen content between 15 and 17 at.%, as determined in a previous study [1].

The second step was to introduce the sample in a diffusion furnace and heat it at 5 °C/min up to 350 °C, from there up to 550 °C at 0.5 °C/min and then keep the sample at this temperature for 1 h. This process allows for a smooth dehydrogenation of the a-Si:H sample, avoiding damage in the film, as studied in the past [1,2,3,4,5,6]. Finally, the sample was heated from 550 °C up to 900°C at 5 °C/min and kept at the latter temperature for 1 h, while injecting a constant inert gas flow of N_2 at 1 l/s, in order to avoid undesired oxidation of the sample. At 900°C, the phosphorus contained in the amorphous silicon thin film diffuses towards the c-Si wafer, consequently creating a pn homojunction. Dehydrogenating smoothly in the previous step is important because a fast dehydrogenation would cause craters in the film, and posteriorly there would be no dopant diffusion in those regions, so that depositing a metallic contact above the junction would short circuit it. The full process, in three steps, is schematically summed up in figure 1.

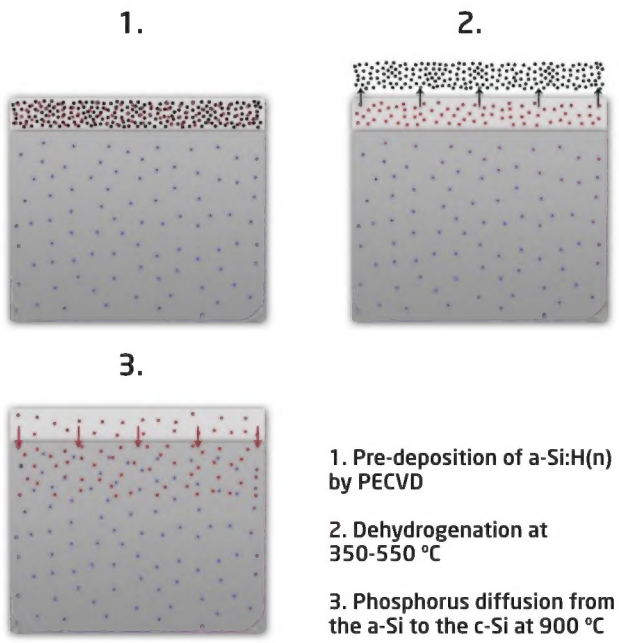


Figure 1. Schematic description of the doping of c-Si by pre-deposition of a-Si:H(n)

In order to measure the photovoltaic J(V) characteristic curve of the obtained junction, a 3 mm disk of around 130 nm thickness of aluminium was deposited by resistive evaporation on top of the sample and then annealed during 30 min at 400 °C, in order to better collect current. Additionally, 140 nm of In_2O_3 which is a transparent conductive oxide (TCO) was deposited by plasma enhanced reactive thermal evaporation, to further improve the current collection by the pn junction. The TCO surface is a 0.36 cm^2 square and covers completely the aluminium contact, so that the total area covered by the TCO and not by the aluminium is 0.29 cm^2. The J(V) curve in the dark and under AM 1 equivalent conditions is plotted in figure 2, reading an efficiency of 5.2 %.

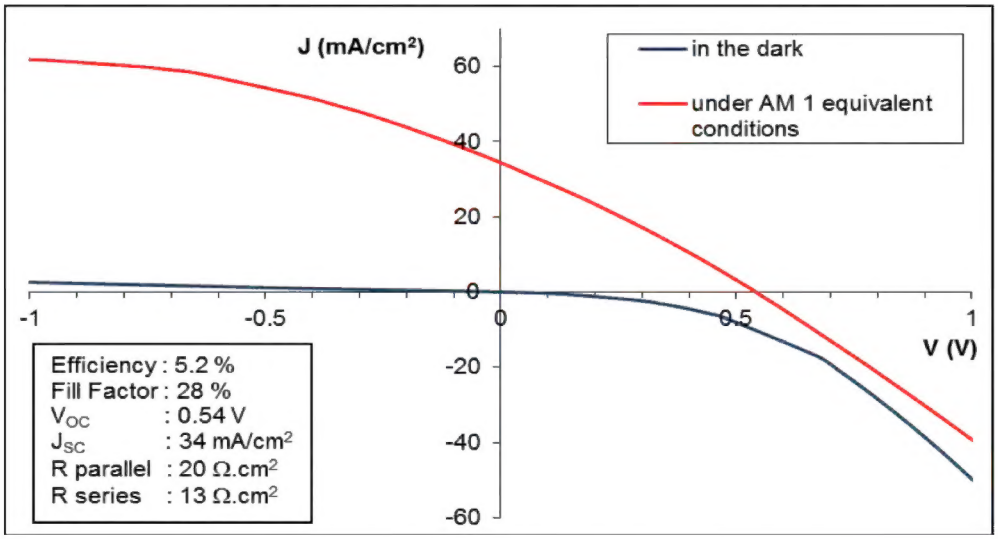


Figure 2. J(V) characteristic curve of the obtained pn junction in the dark and under AM 1 equivalent conditions

The obtained curve shows that this pn homojunction production method, alternative to the conventional pre-deposition and ionic implantation, allows for the production of solar cells. Furthermore, higher efficiencies should be achieved by improving the series resistance, which here seems to be masking an ideal curve. This may be due to the a-Si layer, which has only partially crystallized during the drive-in phase, or alternatively to the contact resistance between the n-type doped layer and the TCO. The parallel resistance, which was calculated at J = 0 mA/cm^2, seems to be masked by this high series resistance. As a result of these, an optimization of the method and additional work on getting better contacts should improve the efficiency of such a solar cell, eventually making it an interesting option for industrial purposes.

Acknowledgements:
The authors gratefully acknowledge "Fundação para a Ciência e a Tecnologia" for funding through a pluriannual contract with ICEMS and by the PTDC/EEA-ELC/108882/2008 project.

References

[1] A. de Calheiros Velozo, G. Lavareda, C. Nunes de Carvalho, A. Amaral, Phys. Status Solidi C 9, p. 2198 (2012)

[2] P. John, I. M. Odeh, M. J. K. Thomas, M. J. Tricker, J. I. B. Wilson, and R. S. Dhariwal, J. Mater. Sci. 16, 1305-1309 (1981)

[3] J. Pankove, M. A. Lampert, and M. L. Tarng, Appl. Phys. Lett. 32, 439 (1978)

[4] J. R. Woodyard, D. R. Bowen, J. G. Hernandez, S. Lee, D. Martin and R. Tsu, Appl. Phys. Lett. 57, 2243 (1985)

[5] R. Rao, F. Kail, and P. Roca i Cabarrocas, J. Mater. Sci.: Mater. Electron. 18,1051-1056 (2007)

[6] J. L. Pankove, Semiconductors and Semimetals 21C- Hydrogenated Amorphous Silicon (Academic Press, 1984), p.287.

Gestão dos produtos da queima do carvão em centrais térmicas, em Portugal e na Europa

Fernando Manuel Caldas Vieira1 (caldas.vieira@edp.pt), Maria José Resende2 (mresende@ist.utl.pt)

[1]EDP Gestão da Produção de Energia, S.A., Avenida José Malhoa, Lote A, 13, 1070 - 157 Lisboa, Portugal
[1]ECOBA European Coal Combustion Products Association, Klinkestr. 27-31, 45136 Essen, Germany
[2]Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Av. Rovisco Pais, 1 1049-001 Lisboa

Abstract

Thermal electricity generation has great importance on the security of electricity grids and also in energy costs control.
In Portugal, last years, coal plants supplied an average of 22,3 % of consumption.
But burning coal raises environmental problems, such as air emissions, which requires the introduction of specific technologies to minimize its effects.
This includes dust removal, desulphurisation and denitrification.
Products resulting of these equipments operation, fly ash, bottom ash and FGD gypsum, should be disposed in large landfills, if nothing was done.
The aim of this document is to show that, with the right management, coal combustion products can no longer be considered as industrial waste but, instead, they are raw materials, with commercial value.
Keywords: Electricity generation, thermal power plants, coal, environment, coal combustion products, fly ash, bottom ash, gypsum.

Resumo

A produção de electricidade com origem térmica tem uma importância muito grande na segurança das redes eléctricas e também no controlo dos custos da energia.
Em Portugal, nos últimos anos, as centrais a carvão satisfizeram, em média, 22,3 % do consumo.
Mas a queima do carvão levanta problemas ambientais, a nível de emissões atmosféricas, cuja minimização exige a introdução de tecnologias como o despoeiramento, a dessulfuração ou a desnitrificação. Do funcionamento destes equipamentos resultam resíduos industriais como as cinzas, volantes e de fundo, e o gesso.
A sua existência levaria, se nada fosse feito, à sua deposição em grandes aterros.
No presente trabalho demonstra-se que, através duma gestão adequada, os produtos da combustão do carvão podem ter utilizações que os retiram da sua classificação de resíduos.
Palavras-chave: Produção de electricidade, centrais térmicas, carvão, ambiente, cinzas, gesso.

1 • INTRODUÇÃO

Na produção de electricidade as tecnologias associadas ao carvão desempenham um papel relevante na satisfação dos consumos.
O carvão é a 2ª fonte de abastecimento de energia primária a nível mundial, com o peso de 30,3% em 2011, só superado pelo petróleo com 33,1%.
Daí que, sendo reconhecido o impacto ambiental da utilização das energias fósseis, no caso do carvão é de extrema importância fazer a gestão dos produtos resultantes da sua queima.
E se nos gases essa gestão atravessa uma fase de inovação e investigação, no caso dos produtos sólidos a solução elementar é a sua deposição em aterro.
Este trabalho pretende demonstrar a importância da actividade de utilização dos produtos da combustão do carvão (PCC), apresentando as soluções adoptadas.
No seu desenvolvimento segue-se a cadeia de produção:
– O carvão - a electricidade - os resíduos - a utilização
Está presente a regra dos 3R, que geralmente se invoca para lidar com o problema dos resíduos:
Reduzir, com as soluções correspondentes a um melhor desempenho;
Reutilizar, no caso da recolha das cinzas de fundo e das tecnologias de beneficiação;
Reciclar, aproveitando os produtos, que se tornam matérias-primas de outros processos de produção.

2 • O CARVÃO

As reservas provadas de carvão em 2011 [1] eram suficientes para a satisfação do consumo durante 112 anos, sendo assim o combustível fóssil mais abundante, pelo rácio reserva/consumo.
Este rácio é de 54,2 anos para o petróleo e 63,6 anos para o gás natural.
Para o conjunto da União Europeia tem-se vindo a verificar ao longo do tempo uma tendência de descida do consumo dos diversos tipos de carvão, como se podem ver pela consulta das bases de dados da Eurostat.

Esta redução é contrariada nos 2 últimos anos, de 2010 e 2011, onde se verifica um acréscimo de consumo.
Tal facto é atribuído à competitividade de preços com os outros combustíveis e ao incremento do uso do carvão na produção de electricidade em países como a Alemanha e a Espanha.

2.1 • O CONSUMO DE CARVÃO EM PORTUGAL

Ao longo dos últimos anos é visível o decréscimo do petróleo, cada vez menos usado na produção de electricidade e a ascensão das renováveis, impulsionadas pela energia eólica [Fig. 1]. O gás natural cresce principalmente no sector doméstico, remetendo-se assim o carvão para uma situação de apoio, o que lhe valeu a recuperação em 2011 e em 2012, resultante de serem anos secos.

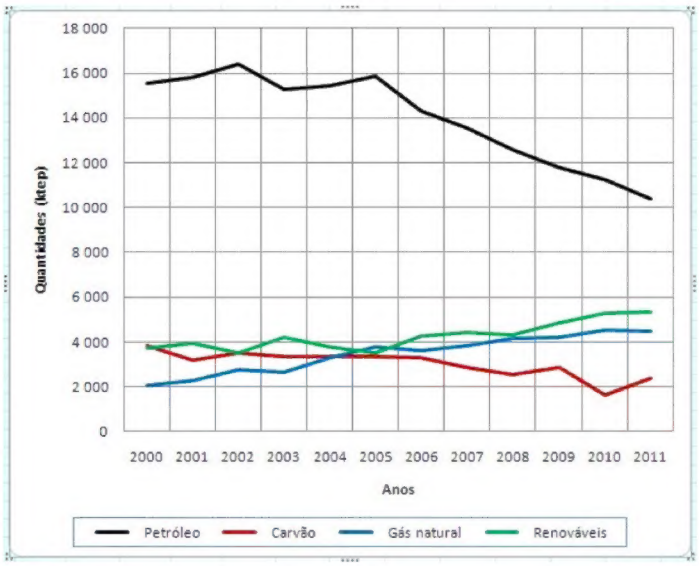


Figura 1 – Consumo de energia primária
(Fonte: DGEG, Balanços Energéticos)

No que diz respeito à utilização, existem 3 grandes sectores onde o carvão é o combustível preferencial:

- O siderúrgico e metalúrgico, que em Portugal foi perdendo peso como consumidor desta forma de energia, designadamente com a reconversão da Siderurgia Nacional em que o alto-forno foi substituído por um forno de arco voltaico.

- A indústria cimenteira, mas que face aos preços vantajosos do petcoke, passou a dar preferência a este combustível.

- A produção de electricidade, que representa assim a quase totalidade dos consumos nacionais.

As centrais térmicas a carvão

A partir de informação pública disponibilizada pelas empresas, descrevem-se as principais características das centrais térmicas a carvão, actualmente em serviço em Portugal.

SINES

Figura 2 – Central de Sines
(Foto: EDP)

Características gerais [2]

Empresa: EDP Gestão da Produção de Energia, SA
Concelho: Sines
Entrada em serviço: 1985, 1º grupo; 1989, último grupo
Potência à emissão: 1180 MW
Número de grupos: 4

PEGO

Figura 3 – Central do Pego
(Foto: Tejo Energia)

Características gerais

Empresa: Tejo Energia, SA
Concelho: Abrantes
Entrada em serviço industrial: 1993, 1º grupo; 1995, 2º grupo
Potência à emissão: 576 MW
Número de grupos: 2

2.2 • O CARVÃO EM PORTUGAL

Na consulta das estatísticas da DGEG [Tabela 1] é possível ver o carvão como recurso energético endógeno, até ao ano de 1994, altura em que cessou a produção das minas de S. Pedro da Cova e do Pejão, cujo carvão abastecia a Central Térmica da Tapada do Outeiro. Até ao seu encerramento, em 2004, esta Central passou a consumir exclusivamente fuelóleo.

Tabela 1 - Produção de carvão nacional (ktep)

Ano:	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Carvão	115	111	91	81	60	0

O facto de existirem reservas deste combustível fez com que ele desempenhasse uma função importante no abastecimento energético do país, com um papel relevante na história do sector.

3 • A ELECTRICIDADE

Num sistema concorrencial, como o Português, actualmente, a alocação da energia eléctrica, mesmo que os grupos não obedeçam a um despacho económico, só despacho técnico para garantir a segurança da rede, não é muito diferente do despacho a custo marginal.
Com efeito, entrando em serviço os grupos que "casaram" a oferta e a procura, significa que entram primeiro os grupos mais baratos, sendo a ponta assegurada pelos mais caros, tal como no despacho económico a custo marginal.

3.1 • O PAPEL DAS CENTRAIS A CARVÃO

Com a penetração dos produtores em regime especial, sem actuarem no mercado e com a sobrecapacidade do sistema, as centrais a carvão, desempenham tendencialmente o papel de fecho do diagrama de cargas: predominando nas pontas, entram depois das PRE, fios de água, ciclo combinado (antes do "take or pay" contratual do gás natural) e importação.
Claro que esta utilização tende a aumentar em anos secos, como 2008, 2009 ou mesmo em 2012, mas com a hidraulicidade a aumentar o seu funcionamento diminui [Tabela 2].

Tabela 2 – Satisfação dos consumos pelo carvão (Fonte: REN)

Observa-se que o ano de 2008 foi afectado pela indisponibilidade associada à instalação dos equipamentos de dessulfuração.
No futuro, as centrais a carvão poderão ter um funcionamento mais estável, aumentando o peso das hidroeléctricas com bombagem ou, se a isso não corresponder uma desaceleração de energias como a eólica, podem definitivamente ficar remetidas para a inactividade.
Claro que aqui também entra o valor relativo dos custos de produção a gás natural e a carvão, onde tendencialmente este último combustível tem levado vantagem.

3.1 • O CARVÃO LIMPO

Em Portugal, quando por opção de política energética para a produção de electricidade, foram construídas as centrais térmicas a carvão de Sines e Pego, a minimização do impacte ambiental foi uma preocupação patente nos projectos e nas actualizações que sofreram posteriormente com a introdução das tecnologias de dessulfuração e de desnitrificação [Fig. 4].

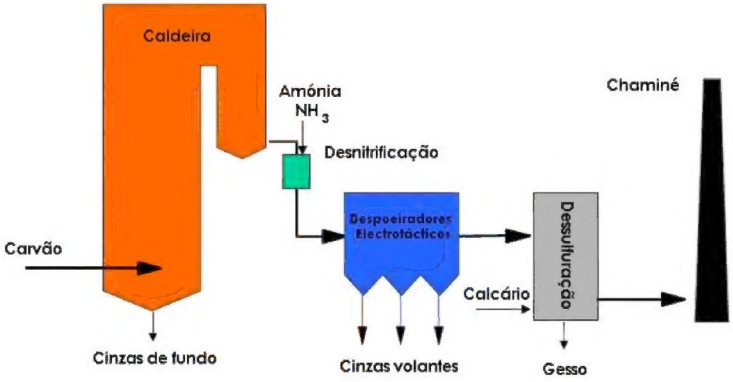


Figura 4 – Gerador de vapor de uma central a carvão (Fonte: ECOBA, adaptado do inglês)

A tecnologia utilizada nestes Grupos Geradores de Vapor leva à produção de três produtos resultantes da combustão do carvão e do processo de dessulfuração:
- As cinzas volantes, recolhidas nos precipitadores electrostáticos;
- As cinzas de fundo obtidas por gravidade nos cinzeiros das caldeiras;
- O gesso resultante da captura do óxido de enxofre nos gases.

Foi prevista uma área de deposição junto às centrais para todos estes produtos. No entanto sempre existiu a preocupação de que a colocação em aterro fosse o último recurso, por motivos económicos e ambientais.

Produção para abastecimento do consumo	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Sines (GWh)	9 590	9 694	8 048	6 926	8 869	4 889	6 879
Pego (GWh)	4 701	4 376	3 615	3 498	3 073	1 663	2 250
TOTAL (GWh)	14 291	14 070	11 663	10 423	11 942	6 553	9 128
Consumo total (GWh)	47 940	49 174	50 059	50 595	49 873	52 198	50 503
Peso do carvão (%)	29.8	28.6	23.3	20.6	23.9	12.6	18.1

Quando a redução das emissões dos gases com efeito de estufa, alegadamente responsáveis pelo aquecimento global do planeta, se tornou um dos objectivos fundamentais das políticas ambientais, o CO_2 ficou no centro das atenções [3]. A sua captura e armazenamento é uma área onde têm sido concentrados esforços de investigação. As principais tecnologias testadas são: post-combustão, pré-combustão e oxi-combustão.

4 • AS UTILIZAÇÕES

Os produtos resultantes da combustão de carvão em centrais termoeléctricas exigem uma gestão que evite a sua deposição.
A cooperação entre produtores e indústria, cimenteira e de fabrico de betão, tem conduzido a soluções sustentadas e vantajosas para ambas as partes.
Do lado da produção, é impossível desligar estes produtos das condicionantes a que ao sector energético está sujeito.
Inversamente, sendo a sua utilização feita quase exclusivamente no sector da construção civil, também do lado da procura, a conjuntura económica é determinante.

4.1 • SITUAÇÃO NA EUROPA

Em 2010, cerca de 49 milhões de toneladas de PCC foram produzidos na Europa (UE15).
A produção em todos os estados membros da Comunidade Europeia (CE) é estimada em cerca de 100 milhões de toneladas.
Os valores globais da Europa dos 15, em 2010, encontram-se compilados em [4]
Interessa analisar alguns aspectos e tendências mais relevantes [Fig. 5 e 6]:

Desde 2003 que a produção de PCC tem-se vindo a reduzir fruto da menor utilização das centrais a carvão por motivos de menor actividade económica (os consumos de electricidade têm-se reduzido), mas também ambientais e da introdução de energias renováveis
No capítulo da utilização verifica-se a existência de escoamentos estáveis sendo que o recurso à deposição representou só 6,4% da produção. Os produtos que são depositados em aterro dificilmente encontrariam mercado por falta de enquadramento normativo.
As grandes utilizações são correspondentes às cinzas, cujos principais destinos são a construção e a recuperação mineira.
No que diz respeito ao gesso [Fig. 7] é evidente o resultado das tecnologias de dessulfuração, nos diferentes países da Europa, através de actualizações nas centrais já existentes ou no equipamento das novas instalações.
A produção sobe de um modo muito significativo a partir do ano 2000, quer para as centrais de carvão betuminoso, quer para as de queima de lenhites.

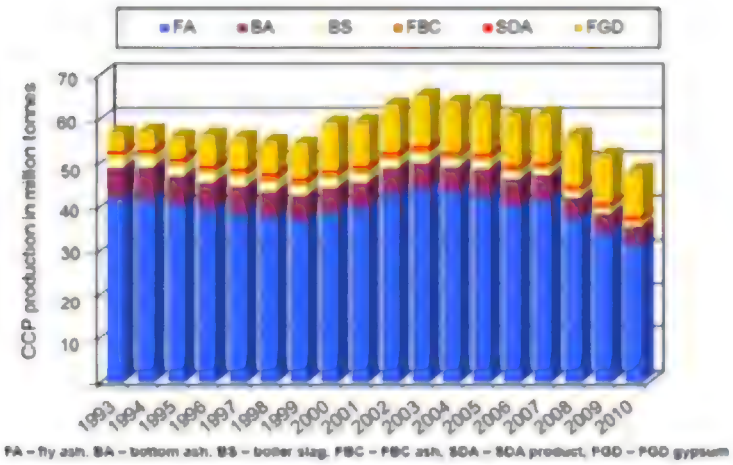


Figura 5 - Produção dos PCC
(Fonte: ECOBA)

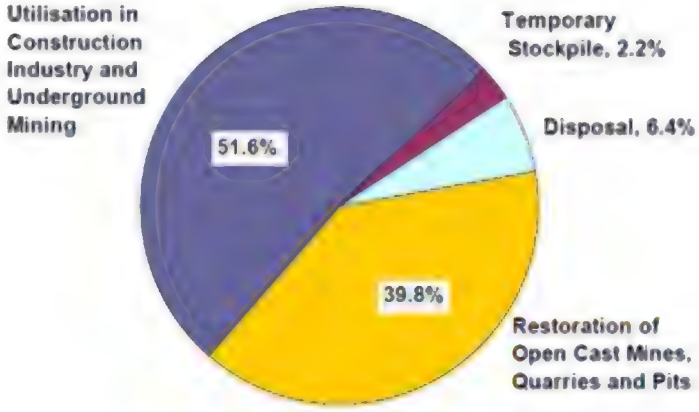


Figura 6 -Utilização dos PCC
(Fonte: ECOBA)

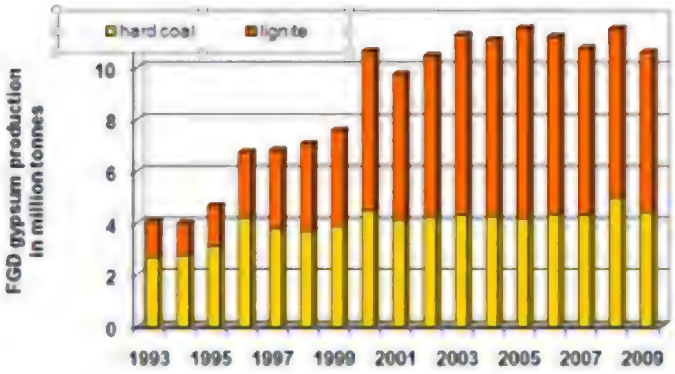


Figura 7 – Produção de gesso, EU15, 1993-2009
(Fonte: ECOBA)

4.2 • SITUAÇÃO EM PORTUGAL

A partir dos dados publicados e por estimativa dos restantes, consegue-se caracterizar a situação nacional dos PCC, até 2011 [Tabela 3].

Ano:	2007	2008	2009	2010	2011
Cinzas volantes (t)	398 959	383 939	466 289	241 629	310 935
Cinzas de fundo (t)	49 707	46 657	49 416	33 772	35 035
Gesso (t)	7 536	147 345	241 156	135 221	170 132
TOTAL (t)	456 202	577 941	756 861	410 622	516 102

Tabela 3 – Produção de PCC em Portugal

As cinzas de fundo só esporadicamente têm escoamento, como adição de betão ou constituinte minoritário do cimento. Enquanto a construção rodoviária não tiver valor expressivo, é feita a sua deposição.
O gesso tem vindo a adquirir mercado, principalmente no fabrico de placas. O facto de a produção ter vindo a encontrar esta utilização, quer no mercado nacional, quer para exportação, leva a que as quantidades depositadas o sejam como armazenagem temporária.
Tendencialmente, os respectivos aterros vão ficando sem material depositado.

4.3 • PRINCIPAIS APLICAÇÕES

Indústria cimenteira e de betões

Este enquadramento deixa antever que as cinzas volantes se encontram ligadas a um conjunto de importantes obras públicas que constituem referências do sector em Portugal. Alguns exemplos [5]:

- Blocos do molhe do porto de Sines, edifício sede da Caixa Geral de Depósitos, via do Infante, metro do Porto;

- Estádios do Campeonato Europeu de Futebol;

- Ponte Vasco da Gama, ponte da Lezíria, barragens dos novos aproveitamentos hidroeléctricos

O interesse comum a estas utilizações reside nas propriedades especiais que o betão apresenta e que são nomeadamente:

- Progressão do endurecimento durante um período longo;

- Bom comportamento em ambientes agressivos;

- Elevada compacidade e impermeabilidade;

- Ganhos na trabalhidade e nas condições de aplicação, seja na bombagem, seja na compactação;

- Menor necessidade de água na amassadura.

Quanto à utilização, relativamente às cinzas volantes, o escoamento é feito, em média, por [Tabela 4]:

Média 2005-2011	%
Fabrico de cimento	22,9
Adição de betão	72,8
Aterro	4,2
TOTAL	100,0

Tabela 4 – Utilização de cinzas volantes

Geotecnia [6-9]

Na construção de estradas, as cinzas volantes e de fundo são particularmente adequadas como material de enchimento nas bases e sub-bases dos pavimentos.
Numa fase em que todos os factores de redução de custos se tornam importantes, o recurso a materiais alternativos, de qualidade comprovada, é um factor que aumenta a competitividade para aquelas empresas que se dispõem a assumir um papel na inovação.

Gesso

Com a instalação em Portugal de sistemas de dessulfuração, em 2007/2008, os operadores das centrais térmicas necessitaram de encontrar um escoamento para o gesso. Em 2011 foram produzidas cerca de 170 000 t.
Como factores favoráveis surgiram também 2 realidades, que prevaleceram:

- O gesso produzido revelou-se de excelente qualidade.
- O mercado nacional das placas cartonadas e das placas de gesso laminadas, estava em desenvolvimento.

Mas na prática a solução passa pelas aplicações mais comuns como grandes consumidoras:

- Regulador de presa no cimento
- Gesso projectado para acabamento de interiores
- Placas de cartão-gesso
- Blocos de gesso
- Argamassa autoniveladora de pavimentos
- Aterros e enchimentos

5 • CONCLUSÕES

Com base nas directivas e nos regulamentos que afectam a produção de energia nos estados-membros da União Europeia, - e, portanto, também a produção de PCC - a indústria de energia terá de desenvolver todos os esforços para fornecer sempre produtos de boa qualidade para o mercado da construção.
A gestão desses produtos de acordo com os padrões de certificação, é uma garantia da qualidade exigida.
Citam-se de seguida 3 vertentes desta gestão que ilustram factores de contributo decisivo para o interesse económico e ambiental, seja pela perspectiva da economia de recursos naturais e energéticos, seja pela redução de emissões atmosféricas:

A normalização

Integrando processos de fabrico, como o cimento e o betão, que estão sujeitos a regulamentos, normas, especificações muito detalhadas, as cinzas têm por sua vez de ser também certificadas.
No caso do gesso, o que é importante é o cumprimento dos requisitos da Eurogypsum.
Assim os geradores de vapor e os sistemas de controlo de processo foram concebidos para permitirem que as cinzas volantes tivessem de acordo com EN 450 de "Cinzas volantes para betão".
Desde 2006 que em Portugal as cinzas volantes, através de certificação, possuem a marca CE, o que permite que em caso de utilização transfronteiriça, no espaço europeu, a certificação seja válida. Isto é, as cinzas Portuguesas podem ser vendidas em qualquer país Europeu.
Mesmo as cinzas de fundo extraídas em cinzeiro seco, têm todas as condições para ser utilizadas para os mesmos fins das cinzas volantes, se misturadas com elas, até ao máximo de 10% em massa.

A classificação dos PCC

Actualmente existem mecanismos legais que permitem que, apesar da classificação de resíduo, estes materiais possam ser equiparados a subprodutos.
Foi o que aconteceu com as cinzas volantes no betão e no cimento, há alguns anos.
É a situação do gesso para placas cartonadas e placas laminadas.
São claros os critérios a que devem obedecer e estão mencionados no art.º 5 da Directiva Quadro dos Resíduos [10]:
- A garantia da sua utilização futura;
- A possibilidade de utilização directa, sem processamento posterior;
- Ser parte integrante de um processo de produção;
- O seu uso estar de acordo com a legislação ambiental e de saúde, sem impactes adversos.

Depois do registo no REACH, fazia sentido a desclassificação destas substâncias como resíduos, passando a subprodutos invocando como argumento os trabalhos e os testes necessários para aquele processo.

A cooperação

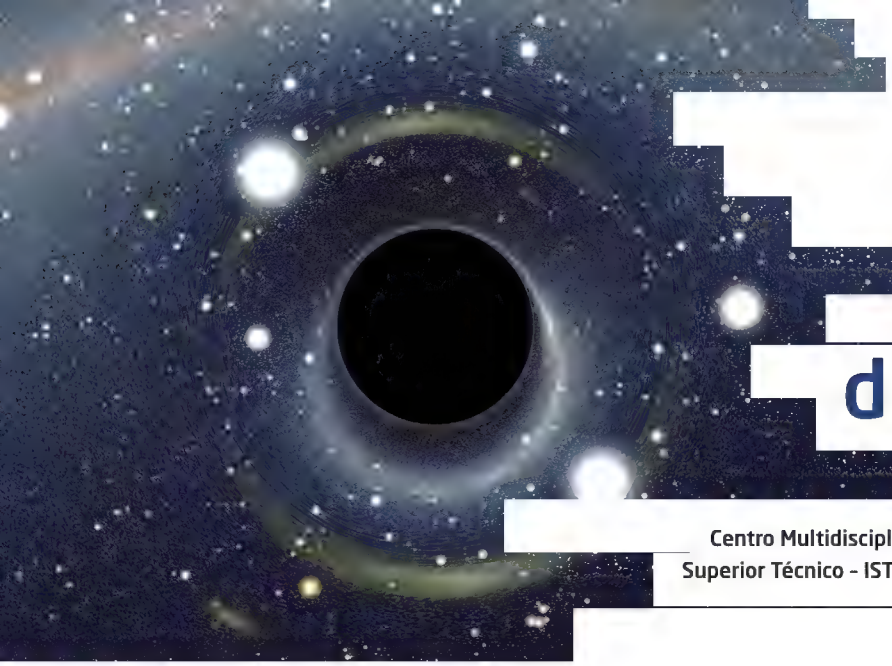
O relacionamento entre as entidades que possuem o mesmo tipo de problemas e assim podem partilhar soluções é o fundamento de uma política sempre adoptada pelos produtores europeus de electricidade.
A participação activa na Associação Europeia dos Produtos da Combustão do Carvão, ECOBA, de que a EDP é membro fundador, é uma manifestação desta atitude e tem levado à obtenção de vantagens mútuas.
Por outro lado, a experiência adquirida ao longo dos anos na gestão deste tipo de materiais permite uma análise dos factores que dificultam a sua utilização e a identificação das medidas que se podem implementar para reverter a situação.
É uma análise que passa por questões operacionais, legais e económicas, pois o aspecto ambiental apresenta vantagens aparentemente inquestionáveis.

Referências bibliográficas

[1] BP (2012), "Statistical review of world energy – Full report 2012"
[2] EDP (2011). "Relatório técnico anual da EDP Produção", EDP
[3] European Zero Emission Platform "ZEP"
[4] ECOBA: Statistics on Production and Utilisation of CCPs in Europe (EU 15) in 2010, ECOBA
[5] EDP (1990). "Cinzas volantes. Aplicações em cimentos e betões", EDP
[6] Cardoso, Claudino, Vieira, Fernando Caldas, "Valorização das Cinzas de Fundo da Combustão do Carvão em Obras Geotécnicas – Caracterização e Medidas para o Desenvolvimento do Sector" Seminário sobre valorização de resíduos em obras geotécnicas, Universidade de Aveiro, 28 e 29 de Setembro de 2009
[7] LNEC, Departamento de vias de comunicação, Núcleo de pavimentos rodoviários (1996) "Caracterização de escórias e cinzas de arranque de central termoeléctrica para aplicação em camadas de pavimentos rodoviários", Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Setembro de 1996
[8] CPPE / LNEC (2003) "Reciclagem de escórias na construção rodoviária", LNEC
[9] Vieira, Fernando Caldas (2004), "Valorização de cinzas do carvão", Seminário sobre valorização de resíduos em obras geotécnicas, Guimarães, 15 de Março de 2004
[10] EC (2008), "Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the council of 19 November 2008", Official Journal of the European Union

Internet

http://www.bp.com
http://www.cimpor.pt
http://www.dgeg.pt/
http://www.ecoba.org/
http://www.edp.pt
http://www.erse.pt/
http://www.lnec.pt
http://www.magaldi.com
http://www.omelholding.es
http://www.ren.pt/
http://www.secil.pt
http://www.tejoenergia.com/



Uma abordagem termodinâmica à entropia de buracos negros

Gonçalo Martins Quinta

Centro Multidisciplinar de Astrofísica - CENTRA, Departamento de Física, Instituto Superior Técnico - IST, Universidade Técnica de Lisboa - UTL, Avenida Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal
Email: goncalo.quinta@ist.utl.pt

Resumo

O estudo de buracos negros é uma área de investigação da física teórica de intensa atividade. Neste artigo analisar-se-á um método para o estudo da entropia destes corpos baseado no conceito de camadas finas de matéria.

1 • INTRODUÇÃO: BURACOS NEGROS

Em 1916, Einstein generalizou a gravidade de Newton para um contexto relativístico, em que a velocidade da luz não só existe como limite inatingível de velocidade para qualquer corpo como também é localmente constante para todos os observadores. Nesta teoria, o tempo e espaço deixam de ser absolutos, entrelaçando-se antes numa entidade designada de espaço-tempo. A atracção gravitacional é então explicada como sendo uma consequência da curvatura do espaço-tempo gerada por corpos massivos. A força gravítica, que anteriormente era vista como uma acção à distância, passou a ser compreendida como um simples movimento natural dos corpos no espaço-tempo curvo, em trajectórias designadas de geodésicas.

O desenvolvimento desta nova teoria veio acompanhado com um novo formalismo matemático. O papel do potencial gravítico passou a ser desempenhado pela métrica, uma noção com origens na geometria diferencial, que contém essencialmente todas as propriedades que caracterizam a geometria do espaço-tempo. Os objectos matemáticos de interesse passaram a ser os tensores, uma generalização do conceito de vector, e a lei da gravitação de Newton foi substituída pelas equações de Einstein

$$G_{ab} = 8\pi T_{ab} \quad (1)$$

que relacionam o tensor de Einstein G_{ab} – que é função da curvatura do espaço-tempo e envolve derivadas segundas da métrica em relação ao espaço-tempo - com o tensor T_{ab} de energia-momento da matéria presente. Note-se que na equação (1) foram usadas unidades naturais em que a velocidade da luz c e a constante de gravitação universal G foram postas iguais a 1. Se assim não fosse, a constante de proporcionalidade seria $8\pi G/c^4$ em vez de 8π.

As equações de Einstein são complexas o suficientemente para possuírem soluções exactas de elevado interesse físico. Uma delas é a solução de Schwarzschild, encontrada em 1916, dada pelo elemento de linha

$$ds^2 = -\left(1-\frac{2m}{r}\right)dt^2 + \left(1-\frac{2m}{r}\right)^{-1}dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta\, d\phi^2) \quad (2)$$

onde m é a massa geométrica, dada em termos da massa usual $\overline{M}$ por $m=\overline{M}G/c^2$. A coordenada t é a coordenada temporal e (r,θ,ϕ) são as coordenadas esféricas usuais. A expressão (2) descreve a curvatura de um espaço-tempo esfericamente simétrico no vácuo, e apresenta um comportamento peculiar para valores de coordenadas radiais menores ou iguais a $R_s=2m$, chamado raio de Schwarzschild, raio gravitacional ou raio de horizonte de eventos. Nesse próprio raio a métrica parece singular mas não o é e, para raios menores, as componentes da métrica temporal e radial trocam de sinal, invertendo consequentemente o comportamento dessas duas coordenadas. Acontece que essa aparente singularidade no raio de horizonte deve-se puramente à escolha de coordenadas, sendo prontamente removida se for feita uma escolha mais adequada. No entanto, é de salientar que esse raio corresponde fisicamente a um ponto sem retorno, já que se uma partícula entrar na esfera de Schwarzschild – esfera de raio R_S - seguirá inexoravelmente para a singularidade central, essa uma singularidade real onde a curvatura é infinita. À região contida dentro do horizonte de eventos dá-se o nome de buraco negro.
Buracos negros são o resultado do colapso gravitacional de estrelas ou de grandes aglomerados de matéria, podendo ter massas da ordem de $1\ M_\odot$, onde a notação $M_\odot$ corresponde a uma massa solar, até massas da ordem de $10^9\ M_\odot$, aos quais se dá o nome de buracos negros supermassivos.

Este último tipo de buracos negros encontram-se no centro de quasares e de galáxias. A nossa própria galáxia tem um buraco negro central com uma massa da ordem $10^6\ M_\odot$.

O estudo da interacção de buracos negros com matéria e radiação elecromagnética revelou a importância destes objectos dentro da física, nomeadamente quando efeitos quânticos são levados em conta na vizinhança do horizonte de eventos de um buraco negro. Nesta situação, uma multitude de novos aspectos notáveis aparecem, entre um deles a radiação de Hawking. Este tipo de radiação pode ser interpretada como emergindo do princípio da incerteza de Heisenberg que afirma que num intervalo de tempo suficientemente curto a incerteza na energia pode ser grande o suficiente para aparecer um par de partícula e anti-partícula, desde que o par se aniquile nesse intervalo de tempo. Se isto acontecer perto do horizonte de eventos, uma das partículas do par criado pode ser capturada pelo buraco negro enquanto que a outra escapa. Um observador exterior ao horizonte de eventos percepciona este efeito como a emissão de uma partícula por parte do buraco negro com a consequente perda de energia por este. A radiação de Hawking atribui assim uma temperatura a buracos negros, chamada temperatura de Hawking, mostrando que estes se comportam como sistemas termodinâmicos, de facto corpos negros, aos quais está naturalmente associada uma entropia. Essa entropia é dada pela fórmula de Bekenstein-Hawking [3,4], nomeadamente

$$S_{BH} = \frac{A_h}{4} \quad (3)$$

onde A_h é a área do horizonte de eventos e onde se usam as unidades naturais $c=G=\hbar=1$, em que $\hbar=h/2\pi$ e onde h é a constante de Planck. Se recuperarmos estas constantes universais, a fórmula fica

$$S_{BH} = \frac{1}{4}\frac{A_h}{A_{pl}} S_{Planck} \quad (4)$$

onde A_pl é a área de Planck dada em termos das unidades fundamentais por $G\hbar/c^3$ e tem o valor de 2.61×10^{-76} cm^2, e $S_{Planck}= k_B$ onde k_B é a constante de Boltzmann. Esta área é formada pelo quadrado de comprimento de Planck, considerado o menor comprimento com significado físico.

A expressão (3) é especialmente importante pelo facto de surgir de uma combinação de relatividade geral com mecânica quântica já que entram as contantes universais correspondentes a cada uma dessas teorias, constituindo assim um resultado que uma teoria de gravitação quântica deverá conter no limite semiclássico. Desta forma, é de esperar que um estudo mais profundo da entropia de buracos negros possa indicar novas pistas para o desenvolvimento de uma teoria de gravitação quântica.

Para uma análise mais detalhada de buracos negros sugerem-se as referências [1, 2], para a temperatura e entropia de buracos negros [3,4] e para uma revisão do conceito de entropia termodinâmica de buracos negros [5,6].

2 • ENTROPIA DE BURACOS NEGROS ATRAVÉS DE UMA ABORDAGEM TERMODINÂMICA DE CAMADAS FINAS DE MATÉRIA

2.1 • CAMADAS FINAS DE MATÉRIA

Para se efectuar uma abordagem termodinâmica de um sistema sujeito apenas a acção gravitacional vamos usar camadas finas de matéria no contexto da relatividade geral que requerem um formalismo especial [7,8].

O conceito de camada fina de matéria surge do problema de relatividade geral sobre como ligar suavemente um espaço-tempo divido em duas partes através de uma hipersuperfície. Este problema é resolvido deduzindo duas condições que devem ser satisfeitas de modo a que o espaço-tempo constitua uma solução válida das equações de Einstein, algo familiar a outras teorias como o electromagnetismo de Maxwell. Estas condições são designadas de condições de junção, e estão relacionadas com as propriedades geométricas da hipersuperfície. A primeira delas é

$$[h_{ab}] = 0 \quad (5)$$

onde h_{ab} é a métrica na hipersuperfície – chamada de métrica induzida – e os parânteses rectos significam o salto de uma quantidade, isto é, a diferença dessa quantidade vista de cada um dos lados da hipersuperfície. A primeira condição de junção afirma assim que a métrica induzida tem que ser contínua quando se atravessa a ligação das duas partes do espaço-tempo. A segunda condição está relacionada com a curvatura extrínseca da hipersuperfície, designada de K_{ab}, quantidade esta que envolve derivadas segundas da métrica na junção. Se essa hipersuperfície infinitesimalmente fina contiver matéria, esta irá possui um tensor de energia-momento S_{ab}, digamos. Pode-se mostrar que esse tensor e a curvatura extrínseca estão ligados pela equação

$$[K_{ab}] - [K]h_{ab} = 8\pi S_{ab} \quad (6)$$

em que $K=h^{ab} K_{ab}$. Esta equação é também conhecida como a equação de Lanczos. No caso de não existir nenhuma matéria na hipersuperfície, o salto na curvatura extrínseca é nulo, pelo que toda a passagem através das duas partes do espaço-tempo se realiza de uma forma suave e contínua, como é o caso de uma superfície de uma estrela na junção da matéria com o vácuo (para mais detalhes ver [8]).

Por outro lado, o tensor de energia-momento da camada também tem uma forma específica associada à forma como a matéria está distribuída. Assumindo que a camada é um fluído perfeito, por exemplo, temos automaticamente que $S_{ab}=(\sigma+p)\, u_a u_b+ph_{ab}$, onde σ é a densidade superficial da matéria na camada, p é a pressão superficial e u_a é a quadrivelocidade da matéria da camada. Através da equação (6), dado um espaço-tempo com uma certa métrica, conseguem-se calcular as expressões para σ e p na camada.

2.2 • TERMODINÂMICA DE CAMADAS FINAS

Suponhamos agora que temos uma camada com uma dada densidade superficial σ, pressão p e entropia S. Essas quantidades obedecem à 1ª lei da termodinâmica

$$TdS = dM + pdA - X_i dx_i \quad (7)$$

onde M é o integral da densidade superficial σ – a massa em repouso portanto -, A é a área da camada e X_i são potenciais generalizados correspondentes às eventuais variáveis termodinâmicas x_i extras que possam existir, como a carga eléctrica por exemplo. A análise termodinâmica de camada finas no caso não carregado e sem momento angular foi feita por Martinez em [9].

Desta forma, uma simples integração da equação (7) pode levar ao cálculo da entropia da camada. Em casos especiais, consegue-se levar a camada até ao horizonte de eventos, o que nem sempre é possível. Nos casos em que é possível, podemos obter a entropia no limite em que levamos a camada para o horizonte de eventos, obtendo dessa forma a entropia de um buraco negro. Esta abordagem de levar a camada de matéria até ao limite de um buraco negro foi feita pela primeira em [10,11].

2.3 • APLICAÇÃO A CAMADAS ELECTRICAMENTE CARREGADAS

Como exemplo de aplicação deste formalismo, considere-se o caso de uma camada esférica electricamente carregada. A métrica originada por um corpo de massa m de carga q esfericamente simétrico é descrita pelo elemento de linha de Reissner-Nordström (ver [1], por exemplo)

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2m}{r} + \frac{q^2}{r^2}\right)dt^2 + \left(1 - \frac{2m}{r} + \frac{q^2}{r^2}\right)^{-1} dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta\, d\phi^2) \quad (8)$$

que consideramos ser a métrica exterior à camada. No interior da camada, a métrica assume-se ser a de um espaço-tempo plano

$$ds^2 = -dt^2 + dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta\, d\phi^2). \quad (9)$$

Assim como no caso da métrica de Schwarzschild se define o raio de horizonte de eventos, na métrica (8) surgem dois raios naturais a definir-se. O primeiro, definido como $r_+=m+\sqrt{m^2-q^2}$, é o raio gravitacional ou raio de horizonte de eventos da camada carregada, e o segundo raio é $r_-=m-\sqrt{m^2-q^2}$, chamado raio de horizonte de Cauchy, que se encontra sempre contido dentro do horizonte de eventos. Este último raio é importante para a dinâmica de buracos negros carregados mas a sua interpretação física requer uma explicação longa que não será feita aqui. Buracos negros podem ter uma carga mínima nula - recuperando a solução de Schwarzschild com $r_+=R_S=2m$ - e uma carga máxima $q=m$, ou equivalentemente $r_+=r_-$. Neste último caso denominam-se de buracos negros extremos.

Com as expressões (8) e (9), pode-se calcular as componentes das curvaturas extrínsecas e portanto o tensor de energia-momento da camada. Considerando que a camada é formada por um fluído perfeito, obtêm-se as expressões para a pressão e massa em repouso, que podem ser substituídas na 1ª lei, agora dada por

$$TdS = dM + pdA - \Phi dq \quad (10)$$

em que Φ é o potencial eléctrico e q é a carga eléctrica. A área é $A=4\pi R^2$, onde R é o raio da camada.

Da expressão (10) não é óbvio à partida qual deve ser a forma do potencial nem da temperatura. No entanto, para o diferencial da entropia dS ser exacto, isto é, para se garantir que existe uma expressão para a entropia, é necessário que o diferencial (10) satisfaça 3 condições de integrabilidade, correspondentes à comutatividade das segundas derivadas. Por outras palavras, é necessário obrigar que a derivação da entropia em ordem a M e de seguida em ordem a A seja igual a derivar em A e depois em ordem a M, por exemplo. Estas relações de comutatividade permitem descobrir a forma geral da temperatura e do potencial eléctrico, que juntamente com a expressão para a pressão e massa em repouso, levam ao resultado

$$dS = b(r_+, r_-)\frac{1-c(r_+,r_-)r_-}{2}dr_+ + b(r_+, r_-)\frac{1-c(r_+,r_-)r_+}{2}dr_- \quad (11)$$

onde $b(r_+,r_-)$ e $c(r_+,r_-)$ são funções arbitrárias de r_+ e r_-. As funções b e c são interpretadas como sendo o inverso da temperatura da camada e potencial eléctrico, respectivamente, quando esta tem um raio infinito. Estas duas funções estão relacionadas por uma outra condição de integrabilidade, já que o diferencial (11) também deve ser exacto. Note-se, contudo, que este diferencial é independente do raio da camada. Por isso, se tomarmos o limite $R \to r_+$ a forma funcional da expressão (11) não muda.

Para se obter um buraco negro temos que especificar a função b de uma forma muito particular, dada por

$$b(r_+, r_-) = \frac{4\pi r_+^2}{r_+ - r_-} \quad (12)$$

que é o inverso da temperatura de Hawking. Utilizando esta expressão e a condição de integrabilidade de (11), é possível mostrar que a solução para a função c é

$$c(r_+, r_-) = \frac{1}{r_+}. \quad (13)$$

Substituindo os resultados (12) e (13) em (11) e integrando, obtemos a entropia

$$S = \frac{A_h}{4} \quad (14)$$

em que A_h é a área correspondente ao raio gravitacional da camada. Dada a escolha (12) e (13), claramente esta entropia é independente do raio R da camada. Levando a camada para o horizonte de eventos recuperamos assim de uma forma natural a entropia (3) de um buraco negro por uma via termodinâmica. Notemos que, após este cálculo, verificamos que a entropia de um buraco negro extremo continua a ser (3).

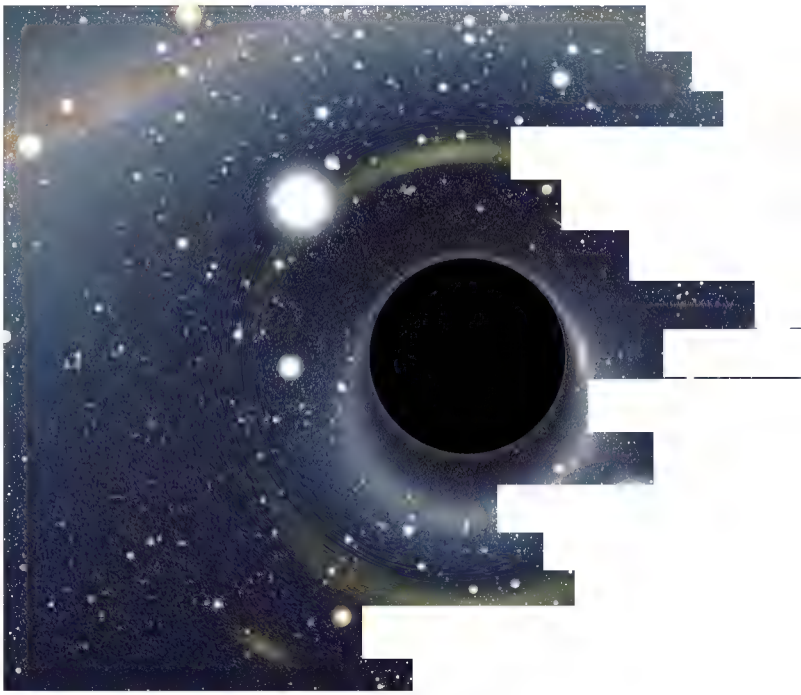
No entanto, pela abordagem termodinâmica conseguimos concluir algo mais sobre a entropia de buracos negros extremos. No caso da camada, podemos considerar o limite r_+=r_- antes de se levar para o limite de um buraco negro, e só depois calcular a entropia. Supondo assim que a matéria da camada satisfaz m=q, o diferencial (11) reduz-se a

$$dS = f(r_+)dr_+ \quad (15)$$

onde $f(r_+)=b(r_+)[1-c(r_+)\,r_+]$. A equação (12) é integrável automaticamente sem necessidade de qualquer condição de integrabilidade adicional. Por esta razão, $f(r_+)$ pode ser escolhida de forma arbitrária, já que a função b continua a ter que satisfazer a equação (12) mas a função c não está constrangida por nenhuma condição. Consequentemente, chegamos à conclusão de que a entropia de um buraco negro extremo é uma função de r_+ mas não necessariamente igual a (3), a não ser no caso particular em que se escolha a forma (13) para c. Este resultado mostra que buracos negros extremos parecem ser objectos diferentes de buracos negros usuais.

3 • CONCLUSÕES

A entropia de um objecto está relacionada com os graus de liberdade microscópicos que o constituem. Num caso de um buraco negro, existem dois problemas fundamentais a resolver relativamente à sua entropia. O primeiro consiste em saber onde se encontram esses graus de liberdade, se no interior do buraco negro ou se no horizonte de eventos. O segundo resume-se a averiguar qual a natureza desses graus de liberdade, o que estes realmente são. Relativamente à primeira questão, existe o consenso de que os graus de liberdade se encontram efectivamente no horizonte de eventos. A nossa abordagem termodinâmica mostra claramente que estão na camada, uma vez que recuperamos a entropia usual de um buraco negro quando a camada tem um raio igual ao seu raio de horizonte. Quanto ao segundo problema, ainda não se sabe a resposta. Em princípio, os graus de liberdade devem ser graus de liberdade gravitacionais, já que um buraco negro puro é feito unicamente de gravitação. A nossa abordagem termodinâmica não é suficientemente sofisticada para nos dar essa resposta. No entanto, é certamente um problema com raíz na junção da mecânica quântica com relatividade geral, pelo que o estudo da entropia de buracos negros revela ser uma motivação forte na tentativa de descobrir uma teoria definitiva de gravitação quântica.
Para mais detalhes ver [12].



4 • REFERÊNCIAS

[1] C. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler, "Gravitation", Freeman, 1973.

[2] K. A. Bronnikov, S. G. Rubin, "Black Holes, Cosmology and Extra Dimensions", World Scientific, 2012.

[3] Jacob D. Bekenstein, "Black holes and entropy", Phys. Rev. D 7, 2333–2346 (1973).

[4] S. W. Hawking, "Particle creation by black holes", Commun. Math. Phys. 43, 199-220 (1975).

[5] J. P. S. Lemos, "Black hole entropy and the holographic principle", em Advances in Physical Sciences, ed. Luis D. Carlos (Universidade de Aveiro Press, Aveiro 2008), p. 97; arXiv:0712.3945 [gr-qc].

[6] J. P. S. Lemos, "Black holes and fundamental physics", em Proceedings of the Fifth International Workshop on New Worlds in Astroparticle Physics, eds. A. Mourão et al (World Scientific, Singapore 2005), p. 71; arXiv:gr-qc/0507101.

[7] W. Israel, "Singular hypersurfaces and thin shells in general relativity", Nuovo Cimento B 44, 1 (1966).

[8] E. Poisson, "A relativist's toolkit", Cambridge University Press, 2004.

[9] E. A. Martinez, "Termodynamics of a Self-Gravitating System", Phys. Rev. D53, 7062 (1996).

[10] J. P. S. Lemos, O. B. Zaslavskii, "Entropy of quasiblack holes", Phys. Rev. D 81, 064012 (2010); arXiv:0904.1741 [gr-qc]

[11] J. P. S. Lemos, O. B. Zaslavskii, "Entropy of extremal black holes from the entropy of quasiblack holes", Phys. Lett. B 695, 37 (2011); arXiv:1011.2768 [gr-qc]

[12] G. M. Quinta, "Thin Matter Shells: Thermodynamical Stability and Implications for Black Hole Entropy", Departamento de Física, IST, 2013.

URBAN RAINWATER QUALITY

Vale, André Baptista Mendes Horta do
Student from the Integrated Master in Environmental Engineering, Instituto Superior Técnico
Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal • E-mail: andre.horta.vale@ist.utl.pt

Abstract

In a time when water pollution is recognised as an issue of major importance and there are just two years left until the deadline imposed by the Water Framework Directive to have a good physical, chemical and ecological status in all surface water bodies is reached. It rises the importance of studies of the potential of urban rainwater to cause significant damages in the receiving water bodies.
This work focuses in the analysis of the rainwater quality in urban environment, since these waters can drag a significant pollutant load, when coming through the atmosphere and after flowing over the roofs, roads, and gardens.

Index Terms
– Heavy metals, monitoring, pollution, rainwater, urban runoff

1 • INTRODUCTION

Nowadays no one questions the necessity of the movement of the human being. Therefore, independently of the usage, occasional or professional, motorized vehicles are essential for the dislocations to be as short and safe as possible.
The fact mentioned above makes that, whether you like it or disapprove it, there are places in cities where naturally parked vehicles accumulate. These places can go from simple parking along the streets to parking in proper places such as big silos.
The waters that result from the washing of the pavement of roads and in specific of parking areas can be, if not properly collected and treated, one of the contamination sources of superficial water bodies and groundwater, when the discharge places of these waters cross with water lines or areas of aquifer recharge, or even through infiltrations that might exist along the path described by the runoff.
So, these can become a source of pollution, mobile and diffuse, mainly of an anthropogenic source. Significant importance is placed, because of its capability of special dispersion and due to the nature of the pollutants in question.
Furthermore, in some countries, the diffuse pollution has been considered as the main factor able to meet adequate environmental levels for water quality.
The fact that parking areas are places where a lot of manoeuvring happens and where the circulation flows at very low speeds but sometimes with high revs, powers the generation of pollutants, making this issue of extreme interest.
Other important aspect regarding this theme is that the actual national and international bibliography is very incipient and limited, regarding the quality of urban runoff in parking lots.

2 • OBJECTIVES

The objectives developed within this essay were, searching and compiling bibliography and to accomplish a case study in Instituto Superior Técnico's exterior parking lot. Diverse samples of rain runoff were collected with the purpose of determinate and evaluate physicochemical parameters.
Information regarding rain data associated to the events where sampling occurred was also collected.
All the obtained information was subject to analysis and statistical treatment, which allowed the construction of some very interesting conclusions.

3 • CASE STUDY DEVELOPMENT

With the purpose of evaluating the quality of urban runoff, samplings were made in a specific place of the parking lot.
Also, the utilization of certain equipment (udometer), data regarding the rain events, such as intensity and duration was measured.
The area covered by the study has utilization that involves directly 53 outside parking places and the access to an underground parking area with 101 places. All these are usually fully occupied during week time and also by different vehicles during the same day.
Sampling was made through a simple process, which when the events happened, the water was collected in a plastic box previously cleaned. Then, when the wanted volume was achieved, the water was transferred to appropriate vessels for further analysis in the laboratory. There, the samples were analysed in the following parameters:

- **Total suspended solids (TSS);**
- **Chemical oxygen demand (COD);**
- **Biochemical oxygen demand after 5 days incubating at 20ºC (BOD5);**
- **Cadmium (Cd);**
- **Copper (Cu);**
- **Lead (Pb);**
- **Iron (Fe);**
- **Nickel (Ni);**
- **Zinc (Zn);**
- **Total hydrocarbons;**
- **Oils and fats.**

At the sampling place, pH, conductivity and temperature were measured using appropriate probes. The choice of the parameters for analysis was due to the bibliography analysed.
Shown below in Table 1 are the characteristics of the shed used in this essay.

Table 1: Values for some parameters of the shed used in the essay.

Shed parameters	Values
Area	230,2 m²
Slope	8,2% in the first 25 meters; 5,6% in the following 12 meters
Average concentration time	~35 seconds
Expected flow	[3,5-17,4] l/min, according to values of precipitation intensity of [0,003-0,014] m³/ha.s

4 • RESULTS AND ANALYSYS

The following results were obtained.
Table 2 shows the events where samples were taken and the data associated to them regarding rain measurements.
Table 3a and 3b shows the results returned by the laboratory regarding the following parameters: BOD, COD, TSS, cadmium, copper, lead, iron, nickel, zinc, oils and fats and hydrocarbons; they also show the parameters measures on site: pH, conductivity and temperature.
The analysis of the obtained values (Table 3a and Table 3b) allows to verify that the physical parameters remain relatively constant, mainly the temperature.
Very briefly, "sampling" relates to the number of overall samples, the "events" relate to the rain events and the relation with sampling, and "sample" regards the collected samples per event.

Table 2: Description of parameters regarding the events were sampling was made.

Sampling	Event	Sample	Precipitation duration (min)	Previous dry period (min)	Ptotal (mm)	Imax (mm/h)	Imed (mm/h)
1	1	1	6	28672[1]	2,4	42	24
2	1	2	2	0	1	18	30
3	1	3	2	0	0,6	12	18
4	1	4	2	0	0,6	12	18
5	4	1	18	716	1,8	18	6
6	5	1	18	1140	1	12	3
7	6	1	2	218	0,8	18	24
8	8	1	16	276	1,2	6	4,5
9	8	2	2	0	0,4	6	12
10	8	3	2	0	0,4	6	12

[1] Data obtained through the rain bulletin associated to São Julião do Tojal (20C/01C) station.
Table 3a : Results from laboratory analysis to the parameters in study.

Table 3a : Description of parameters regarding the events were sampling was made.

Sampling	Event	pH	Cond (uS/cm)	T(°C)	BOD_5 (mg(O2)/l)	COD (mg(O2)/l)	TSS (mg/l)
1	1	7,26	362	22,4	186	950	750
2	1	7,36	325	19,9	82	499	310
3	1	7,45	303	19,8	110	451	260
4	1	7,72	132,1	18,8	15	99	3400
5	4	7,53	113,2	16,4	110	796	900
6	5	7,88	86,4	16,2	15	115	61
7	6	7,98	71,1	18,2	8	36	52
8	8	7,84	105,3	16,1	8	38	45
9	8	7,56	50,2	16,4	5	7	22
10	8	7,47	53,7	15,7	3	6	17

Table 3b : Results from laboratory analysis to the parameters in study.

Sampling	Event	Lead (mg/l)	Copper (mg/l)	Iron (mg/l)	Zinc (mg/l)	Oils and fats (mg/l)	Total hydrocarbons (mg/l)
1	1	0,1	0,15	5	1,3	11	2
2	1	<0,10	0,13	3,2	0,3	4,8	1
3	1	<0,10	0,12	2,9	0,31	2,1	0,4
4	1	<0,10	<0,10	1	0,13	0,8	<0,3
5	4	0,23	0,34	12	1,3	1,1	0,8
6	5	<0,10	<0,10	0,9	0,1	2,2	1
7	6	<0,10	<0,10	0,35	<0,10	1,6	1,3
8	8	<0,10	<0,10	1,1	<0,10	1,2	0,8
9	8	<0,10	<0,10	0,51	<0,10	0,4	<0,3
10	8	<0,10	<0,10	0,4	<0,10	0,4	<0,3

The parameter pH suffered some variations along the process but only between 7,26 (sample 1 from event 1) and 7,98 (sample 1 from event 6). Nevertheless, this small variation is extremely relevant, since that values above 7,5, copper, lead, zinc and cadmium are in less toxic forms for the surrounding environment. Otherwise, with values bellow 6,5, which were never read during all the study, the toxicity is higher.
The values of conductivity follow an interesting decrease as they allow to verify a phenomena of constant "cleaning" of the road, inside events and between events, reaching a value of residual pollution around 100 µS/cm after sampling 5.The reduction of the conductivity values indicate a possible and predictable decrease in the values associated to heavy metals along the events.
It is also important to point out that this "cleaning process" was to a certain point visible in the turbidity of the samples as along the sampling the water was clearer and clearer after collecting each sample.

Regarding TSS, these have an awkward distribution because after a big previous dry period, returns values around 750 mg/l and then, it decreases in the 2 following samples reaching a maximum of 3400 mg/l on the forth sample of event 1, decreasing in the following events until the end of the sampling. It's quite possible that the maximum of 3400 mg/l was due to and error by the operator during the sampling process because of big discrepancy between values and the time it was registered.
Despite the high results of fourth and fifth samples, from the sixth forward, we have again only residual pollution, which will reduce event after event, with levels below the limit value of annex XVIII from the Portuguese Decree-Law No. 236/98[2] .
The values associated with parameters COD and BOD_5 does not allow the drawing of strong conclusions; the only verifiable aspect is that both parameters have a very similar behavior within each event. However, the COD values are much higher than the BOD_5 for the same samples.

This fact can be justified by two points:

- Part of the organic matter, difficult to oxidize biol ogically, can be chemically degraded by potassium di chromate;

- Some organic substances can be toxic for the micro organisms used in the BOD_5 tests.

Apart from the above, the fact that there is a garden which is regularly taken care of near the sampling place can be a

response to the high values in some samples.
Both of the parameters show some samples above the limit emission value of annex XVIII of Portuguese Decree-Law No. 236/98[2]. The ratio between COD and BOD_5 allows understanding the biodegradability of the water. Table 4 presents the relation between BOD_5 and COD.

Table 4 : Relation BOD_5/COD.

Event	BOD_5 / COD
Event 1 – Sample 1	0,20
Event 1 – Sample 2	0,16
Event 1 – Sample 3	0,24
Event 1 – Sample 4	0,15
Event 4 – Sample 1	0,14
Event 5 – Sample 1	0,13
Event 6 – Sample 1	0,22
Event 8 – Sample 1	0,21
Event 8 – Sample 2	0,71
Event 8 – Sample 3	0,50
Average	0,26

Thus, the analysis of the results for the value of the ratio BOD_5/COD shows that only once registered values were above 0,6, representing an event with easily biodegradable waters. There were five values between 0,2 and 0,6 (4 of them lying between 0,2 and 0,24), indicating middle biodegradable waters, and 4 values below 0,2, indicative of hard biodegradable waters.
An analysis regarding only the first samples of each event results in an average of 0,18 for the relationship BOD_5/COD, indicative that the waters initially are hardly biodegradable.
It is possible to suggest, from the presented values that initially the rain runoff has higher concentrations of heavy metals, and that over the events, with the natural washing of the road, there is a decrease in the inorganic mass, and the consequent increased in biodegradability of the runoff.

The element zinc, as shown in Table 3b, has low concentrations throughout all the study, with the exception of event 4 (sample 5), which presents a slightly higher value.

Iron was the heavy metal that appeared in higher concentrations in all the field work. It showed values above the limit emission level in annex XVIII for the first three samples of the first event, and a maximum in event 4 (sampling 5).

Copper and lead showed some results below the detection limit, which is quite positive, as in the case of lead, it's keeping the overall pattern of decrease since the element was banned as an additive in fuels.
A note should also be given to nickel and cadmium as the results were always below the detection limit.

For oils and fats, the samples showed very low concentrations, all below the limit emission value present at annex XVIII of Decree-Law no. 236/98[2].

Finally, regarding total hydrocarbons, there isn't a limit value of discharge that allows the insertion of the results obtained in a concentration range of "acceptable". However, in some events it was found that the total hydrocarbons were below the detection limit.
It is important to point out that the annex XVIII of Decree-Law no. 236/98[2] gives respect to residual waters discharge, and the ELV shown were the ones used because there is no legislation regarding ELV on rainwater discharges on Portuguese legislation and European legislation.

Table 6 shows the values for the average, median, standard deviation, minimum and maximum for the parameters.

Table 6 : Statistical analysis.

Parameters	Average	Median	Standard deviation	Min	Max
pH	7,6	7,5	0,23	7,3	7,9
Cond (uS/cm)	160,2	109,2	114,5	50,2	362
T(ºC)	17,9	17,3	2,1	15,7	22,4
BOD5 (mg(O2)/l)	54,2	15,0	60,6	3	186
COD (mg(O2)/l)	299,7	107	334,1	6	950
TSS (mg/l)	581,7	160,5	985,9	17	3400
TSS (mg/l)[3]	268,5	61,0	315,6	17	900
Lead (mg/l)	0,17	0,17	0,07	0,1	0,23
Copper (mg/l)	0,19	0,14	0,09	0,12	0,34
Iron (mg/l)	2,7	1,05	3,4	0,35	12
Zinc (mg/l)	0,57	0,31	0,52	0,1	1,3
Oils and fats (mg/l)	2,6	1,4	3,06	0,4	11
Total hydrocarbons (mg/l)	1,04	1,0	0,47	0,4	2

The result obtained allows the observation of mean values higher than the median values. This again shows the variability of the obtained results. This factor is especially evident in the results obtained for the conductivity, BOD5, COD, TSS and iron. Regarding the iron and TSS parameters the variability is much higher due to the peaks observed in two samples. Therefore, it was decided also to show the results for TSS without the value that is suspected of being mistaken (3400 mg/l). The new results show a much more considerable variability.
In addition, the values for the standard deviation also give an indication of the variability.

On Table 7, we have a synthesis of the obtained results organized with range and average values and two studies to compare the results, within the comparable parameters, one regarding highways and other from urban areas.

Table 7 : Final synthesis of the results.

Parameters	Concentrations (mg/l)	Concentrations (mg/l) Urban runoff	Concentrations (mg/l) Highway A3 Pte.Lima[4] ADAT[5]=7849
pH	7,61 (7,26-7,98)	6,5-7,4[6]	
Cond (uS/cm)	160,2 (50,2-362)	33-209	-
BOD_5 (mg(O2)/l)	54,2 (3-186)	0,3–25	15-141
COD (mg(O2)/l)	299,7 (6-950)	4,0–256,0	48-964
TSS (mg/l)[7]	268,5 (17-900)	0–159	49-498
Copper (mg/l)	0,19 (0,12-0,34)	0–0,045	0,027-0,191
Iron (mg/l)	2,74 (0,35-12)	9–3,27	0,071-0,523
Zinc (mg/l)	0,57 (0,1-1,3)	0–1	0,246-3,839
Oils and fats (mg/l)	2,56 (0,4-11)	0–52,0	

The obtained results in this study are in the same range as the results obtained in the previous presented studies.
Regarding highways, which naturally have higher traffic and speeds quite superior to the ones in parking lots; it is extremely interesting to verify that when compared to the values obtained in the parking lot the ranges are almost the same which indicates that the number of vehicles is mainly independent from the results.

Regarding the values of the urban runoff study, there is not much to say because the results are quite similar for the parameters where comparison is possible, with the exception of iron, which for the parking lot presents values greater than the ones on the comparison study.

Furthermore in Table 8, a correlation table built using the Pearson coefficient, represents a measurement of the linear relation between two quantitative variables. The coefficient varies between -1 and 1 where:

- 0 means the absence of correlation between variables;
- -1 means strong linear inverse relation, which means that when one variable increases the other decreases and vice-versa;
- 1 means strong linear relation, which means that when one variable increases, the other also increases.

The parameters subjected to correlation were limited to the previous dry period and the parameters analysed in the laboratory, mainly due to the limited data available, the correlation between other parameters didn't return any values of interest to the research.

As the selected parameter was the previous dry period, only the first samples of each event were correlated.
The heavy metals cadmium and nickel didn't report any value. Also lead and copper have been removed from the correlation table, because they only had values for the first event and one value is not enough to correlate data.

[3]Values for TSS (mg/l) without the maximum value of 3400 (mg/l)
[4]Source: Adapted from Barbosa et al., 2011.
[5]Average Daily Anual Traffic
[6]Source: Adapted from Gromaire-Mertz et al., 1999.

Legend: x – average concentrations; (x-x) concentration range

Table 8 : Correlation table between previous dry period and other parameters.

Parameters	Previous dry period (min)
Previous dry period (min)	1,00
BOD_5 (mg(O2)/l)	0,85
COD (mg(O2)/l)	0,71
TSS (mg/L)	0,51
Iron (mg/l)	0,14
Zinc (mg/L)	0,62
Oils and fats (mg/L)	0,99
Total hydrocarbonates (mg/L)	0,77

The analysis of the previous values allowed seeing a strong correlation between the previous dry period and the concentration of oils and fats, BOD_5, COD and total hydrocarbonates. On the other side, a weak correlation was noticed with iron, TSS and zinc.
To conclude, it should be pointed out that no more statistical analysis was developed due to the low sampling number, which limited the ability to perform deep statistical analysis, thus opting to do a superficial but secure analysis of the data.

5 • CONCLUSIONS

The obtained results in the case study do not differ significantly from those in other very different situations, corresponding to highways with fast traffic. It is also clear that for BOD_5, COD, TSS and iron, the limit emission values constant on the annex XVIII of the Portuguese Decree-Law No. 236/98 are often exceeded.
The results reinforce the idea that this type of water has the potential to cause damage to the receiving waters where it is discharged without any treatment, especially when the first rainfall events occur after long periods of dry weather; and also shows the need to introduce specific legislation for this type of water discharge.
The previous dry period seems to be an extremely influent parameter regarding the quality of urban runoff, as this parameter clearly related itself with oil and grease, BOD_5, COD and total hydrocarbons.
Regarding the heavy metals, nickel and cadmium, they were not detected. As for lead and copper, only one value for lead and three values for copper were above detection limits.
It is also possible to say that the obtained values fall within the range of values of most studies associated with urban storm water, which presents an organic load usually greater than the one recorded in studies associated with highways.
However, it is interesting to note that the results are within the same range of observed values in studies related to highways where the number of circulating vehicles is much higher.
Thus, assuming that vehicles are the main influential factors on the quality of urban runoff, the low speeds that are normally used inside parking lots seem to be a major factor behind the degradation of components of the vehicle and consequently the quality of urban runoff.
On this point, it seems credible that electric vehicles will bring great change, since the maneuvers at low speeds are aided by the electric motor, thus avoiding many of the emissions.

6 • BIBLIOGRAPHY

Agência Portuguesa do Ambiente; Precipitação (nº de dias no ano); Atlas do Ambiente; 1974.

Antunes, Pedro Baila; Monitorização de Águas de Escorrência de Estradas; Apresentação realizada no âmbito do Workshop G-Terra realizado no Laboratório Nacional de Engenharia Civil; Junho; 2011.

Barbosa, Ana Estela; Highway Runoff Pollution and Design of Infiltration Ponds for Pollutant Retention in Semi-Arid Climates; Ph.D. Dissertation; Aalborg University; 1999.

Barbosa, Ana Estela; Telhado, Ana; Caliço, Jessica; Fernandes, João Nuno; Vieira, José; Almeida; Luísa Vales de; et al., Directrizes para a Gestão Integrada das Escorrências de Estradas em Portugal; Laboratório Nacional de Engenharia Civil; Lisboa; 2011.

Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto; Diário da República, I Série A, 3676-3722. Disponível em http://www.povt.qren.pt/tempfiles/20080213150349moptc.pdf . > . Acesso em 10 de Janeiro de 2011.

DUCP [Drenagem Urbana e Controlo da Poluição]; Slides das aulas teóricas da cadeira de Drenagem Urbana e Controlo da Poluição; Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa; Lisboa; 2º Semestre 2009/2010.

Ferreira, Filipa Maria Santos; Modelação e Gestão Integrada de Sistemas de Águas Residuais; Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil; Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa; Lisboa; 2006.

Field, Richard; Sullivan, Daniel; Tafuri, Anthony N.; Management of Combined Sewer Overflows; Lewis Publishers; 2004.

Gondim, Ronner; Qualidade das Águas Pluviais em Meio Urbano; Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente; Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa; Lisboa; 2008.

Gromaire-Mertz, Marie-Christine; La Pollution des Eaux Pluviales Urbaines en Reseau D'Assainissment Unitaire: Caracteristiques et Origines; These pour l'obtention du titre de Docteur de L'Ecole Nationale des Ponts et Chaussees, Spécialitè: Sciences et Techniques de l'Environnement; Ecole Nationale des Ponts et Chaussees; 1998.

Gromaire-Mertz, M.C.; Garnaud, A.; Gonzalez, A.; Chebbo, G.; Characterization of Urban Runoff Pollution in Paris; Pergamon; 1999.

Hvitved-Jacobsen, Thorkild; Vollertsen, Jes; Haaning Nielsen, Asbjorn; Urban and Highway Stormwater Pollution: Concepts and Engineering; CRC Press; 2010.

Instituto da Água; Água em Portugal; s.d.

Instituto de Meteorologia; Clima de Portugal Continental; 2008. Disponível em http://www.meteo.pt/pt/areaeducativa/otempoeoclima/clima.pt/index.html . > . Acesso em 20 de Março de 2011.

Instituto Geográfico Português; Carta de Portugal Continental 1:50000; 2009.

Instituto Mineiro de Gestão das Águas; Relatório de Monitoramento das Águas Superficiais na Bacia do Rio São Francisco em 2005; Belo Horizonte; 2006. Disponível em http://www.aguasdoparaopeba.org.br/arquivos/relatorio_2005.pdf . > . Acesso em 20 de Janeiro de 2011.

Lee, J.H.; Bang, K.W.; Ketchum, L.H.; Choe, J.S.; Yu, M.J.; First flush analysis of urban storm runoff; Elsevier; Science Direct; 2001.

Lei n.º 13/2002 de 19 de Fevereiro; Diário da República, I Série A, 1324-1430. Disponível em http://www.povt.qren.pt/tempfiles/20080131103842moptc.pdf . > .Acesso em 10 de Janeiro de 2011.

Lourenço, Raquel; Determinação da poluição difusa afluente a uma linha de água: Validação das metodologias habitualmente utilizadas no cálculo das cargas de poluição difusa para bacias hidrográficas nacionais; 6º Congresso da Água; 2002.

Matos, José Saldanha; Ambiente e Saneamento: Sistemas de Drenagem Urbana; Versão Provisória; s.d.

Nações Unidas; Factos sobre a cimeira de Joanesburgo - A água; Centro de informação das Nações Unidas em Portugal; 2002; pp.2

National Geographic Society; Atlas - Europa - Volume I; Edição Portuguesa: RBA Coleccionábles, S.A.; 2005.

NRCS [Natural Resources Conservation Service]; Federal Stream Corridor Restoration Handbook; United States Department of Agriculture; 2001.

Quintela, António Carvalho; Hidrologia e Recursos Hídricos; 1996; pp.1.11-1.12.

Ramísio, Paulo; Retenção de metais pesados de escorrências rodoviárias por filtração reactiva; Dissertação de doutoramento em engenharia, especialização em engenharia civil; Universidade do Minho; 2007.

SNIRH [Sistemas Nacional de Informação de Recursos Hídricos]; Dados sintetizados -> Recursos Hídricos -> Boletim de Precipitação -> São Julião do Tojal (20C/01C)-> Dados de precipitação mensal; 2010. Disponível em http://snirh.pt/index.php?idRef=MTM4Ng=&findestacaosimbolo=20C/01C . > . Acesso em 20 de Fevereiro de 2011.

Sousa, Eduardo Ribeiro de; Sousa, Ana Ambrósio; Projecto de Saneamento e Instalações de Tratamento de Agua: Noções de Qualidade de Água; Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa; Lisboa; 2008. Disponível em https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/198513/1/11_PSIT_Nocoes_Qualidade_Agua.pdf . > . Acesso em 20 de Janeiro 2011.

Taebi, Amir; Droste, Ronald L.; Pollution loads in urban runoff and sanitary wastewater; Science Direct; 2003.

Tucci, Carlos E.M.; Urban Waters: Urban Development; Estudos Avançados; 2008.

UNESCO [United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization]; United Nations funds and programs; Specialized UN agencies; United Nations Regional Commissions; Secretariat of United Nations Conventions and Decades; WATER, a shared responsibility: The United Nations World Water Development Report 2; 2006; pp.121-122.

University of Wisconsin; Project Extension; Polluted Urban Runoff: A Source of Concern; University of Wisconsin in cooperation with the Wisconsin Department of Natural Resources; Wisconsin; 1997.

Washington State Department of Health; Coliform Bacteria and Drinking Water; Washington State Department of Health; Washington; 2010. Disponível em http://www.doh.wa.gov/ehp /dw/Publications/ 331-181.pdf. > . Acesso em 20 de Janeiro de 2011.

Westerlund, Camilla; Road Runoff Quality in Cold Climates; Doctoral Thesis in Environmental Engineering; Department of Civil, Mining and Environmental Engineering of Lulea University of Technology; Lulea, Sweden; 2007. Disponível em http://epubl.ltu.se/1402-1544/2007/37/LTU-DT-0737-SE.pdf . > . Acesso em 10 Janeiro de 2011.

World Health Organization; Health through safe drinking water and basic sanitation, s.d. Disponível em http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1_en/index.html . > . Acesso em 24 de Fevereiro de 2011.

Sala de Estudo AEIST

A pensar em ti,
a AEIST concebeu um espaço onde podes estudar, mesmo durante a noite.
A Sala de Estudo AEIST será o teu espaço de estudo!
Aberta todos os dias entre as 8h e as 3h.

Aberto das 8h atá às 3h da manhã.

Local: Pavilhão da Secção de Folhas

aeist
associação dos estudantes
instituto superior técnico

SQUASH NA AEIST

VEM CONHECER A NOSSA NOVA SALA DE SQUASH

Pavilhão de Acção Social, piso -1

INFORMAÇÕES
DE PREÇOS E RESERVAS
EM **WWW.AEIST.PT** OU
DESPORTIVA@AEIST.PT

aeist
associação dos estudantes
instituto superior técnico

secção
Desportiva

Publique um artigo nas próximas edições da Técnica

Gostaria de ver um artigo seu numa das próximas edições da revista Técnica!?

Consulte as normas de admissão de artigos na Revista, que se encontram nas páginas seguintes,
e envie o seu artigo para TECNICA@aeist.pt.

NORMAS DE ADMISSÃO DE TRABALHOS E INSTRUÇÕES PARA AUTORES

1. A Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico (AEIST) publicará anualmente um mínimo de dois números da revista Técnica.

2. A Revista tem como objectivo a divulgação da actividade de investigação técnico-científica que diariamente é desenvolvida no Instituto Superior Técnico.

3. Atendendo ao contexto onde se insere e público a que, em conformidade e de modo principal, se destina, a revista integra-se a partir das três seguintes formas:

ARTIGOS DE REVISÃO

Destinam-se a trabalhos de síntese no domínio das ciências básicas da engenharia. Além do mais, procura-se que estes artigos se constituam fontes recomendadas de estudo aos alunos e de consulta para investigadores e docentes.

ARTIGOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS

São artigos submetidos a publicações. Destinam-se essencialmente a dar notícia sobre aquisições actuais da ciência e da tecnologia que vá para além da simples divulgação, sendo desejável que nesses trabalhos figurem parâmetros e referências que permitam elaborar juízos críticos e comparativos. Fundamentalmente, um artigo sucinto, com carácter crítico, que traduza o trabalho de investigação científica realizada pelo autor.

NOTAS CIENTÍFICAS

Destinam-se essencialmente à apresentação de novos resultados no domínio da investigação científica ou do desenvolvimento tecnológico. Pretende-se uma nota curta, realçando os resultados alcançados e referenciando trabalhos afins, evitando a exposição longa de antecedentes, que deverá ser remetida para referências.

4. Quando o autor ou autores forem alunos é necessário que do trabalho conste a indicação de um supervisor de reconhecida idoneidade científica e técnica que tenha comparticipado na análise crítica e prévia discussão do trabalho em causa (Ex: orientador da dissertação)

5. Os Artigos de Revisão, os Artigos Técnico-Científicos e as Notas Científicas devem estar em língua portuguesa ou inglesa, sendo a ortografia da responsabilidade dos autores.

6. Os autores deverão atender na elaboração dos artigos às seguintes condições:

6.1. Os Artigos devem ser disponibilizados num formato que possibilite a sua edição, de forma a que a AEIST possa manter uma identidade própria.

6.2. A estrutura do artigo fica ao critério do autor, sendo que caso se trate de um Artigo de Revisão ou Técnico-Científico não poderão exceder 10 páginas A4. No caso das Notas Científicas não poderão exceder 5 páginas A4, incluindo o espaço reservado a ilustrações. No entanto todos os artigos recepcionados serão sujeitos a avaliação por parte da AEIST.

6.3. A formatação do texto deverá obedecer às seguintes regras:

- espaçamento a 1,5 linhas;
- tamanho de letra: 10 pontos;
- notas de pé-de-página com espaçamento de 1 linha. Usar moderadamente, com tipo de letra de 9 pontos;
- margens: mínimo de 2,5 centímetros nos quatro lados;

6.4. As referências bibliográficas devem ser indicadas no texto por ordem numérica, usando algarismos árabes entre colchetes [], e a lista das mesmas, no final do artigo, obedecerá às seguintes normas:

- Artigos de revistas:
  Nome(s) do(s) autor(es) e iniciais (ano de publicação entre parêntesis). Nome do artigo, Nome da revista, número do volume, página(s).
- Livros:
  Nome(s) do(s) autor(es) e iniciais (ano de publicação entre parêntesis). Título, editora, página(s).
  Trabalhos em que a matéria apresentada não esteja referenciada não são, em princípio, publicados.

6.5. As tabelas e figuras devem ser centradas no texto, numeradas e conter uma legenda que descreva o seu conteúdo; devem preferencialmente ser enviadas em anexo ao artigo.

7. Os autores deverão assegurar-se, antes de enviarem os originais, que estes não contenham erros, falta de dados, etc., pois que, na fase de revisão, já não se aceitam correcções ao artigo inicialmente recebido, apenas são feitas correcções de erros tipográficos.

NOTA: A AEIST salienta que qualquer artigo cedido para publicação na Revista fica à inteira responsabilidade do(s) autor (es).

A AEIST oferecerá três exemplares da Revista, por cada trabalho publicado, independentemente do número de autores.

Modelo Semi-Empírico para Vibrações Induzidas por Desprendimento de Vórtices em Torres Altas Circulares

João Parracho
Sob supervisão do Prof. Sérgio Cruz - Dep. Engenharia Civil, IST, Lisboa, Portugal 15 de Outubro, 2012

Resumo

O objectivo deste trabalho é estudar o problema das vibrações transversais aeroelásticas em torres cilíndricas circulares, devidas ao desprendimento alternado de vórtices causado pelo escoamento de um fluido. São obtidas amplitudes de deslocamento para as torres usando métodos analíticos e empíricos. O método principal utilizado nesta análise é um modelo semi-empírico desenvolvido no domínio do tempo, proposto por Pinheiro [6]. Este método é aplicável ao caso específico de torres isoladas de secção circular. Baseia-se em modelos bidimensionais onde os efeitos da tridimensionalidade são contabilizados através da extensão a condições reais de escoamento e da incorporação da análise modal. Estes modelos são o modelo empírico não linear de Scanlan [7] e o oscilador acoplado de Blevins [3]. Um modelo proposto pela mais recente regulamentação europeia (Eurocódigo 1, parte 1-4 [5]) é também descrito e analisado. Aplica-se o método de Pinheiro a casos específicos extraídos da literatura. São realizadas comparações com resultados obtidos em ensaios de túnel de vento e com outros modelos analíticos. Estas demonstram uma boa e prometedora concordância, evidenciando o potencial do método de Pinheiro. Abordam-se alguns desenvolvimentos futuros para o modelo, com o objectivo de estender a sua utilização a um âmbito mais alargado de aplicações. Finalmente, apresentam-se as principais conclusões, juntamente com algumas sugestões e precauções para aplicação do modelo. Estas demonstram que o modelo de Pinheiro é uma boa ferramenta, sendo melhor usada com cuidado e conjuntamente com outras abordagens no projecto de uma estrutura.
Palavras-Chave: Vibrações induzidas por vórtices; Vibrações transversais ao vento; Torres circulares; Lock-in; Interacção fluido-estrutura.

1 • INTRODUÇÃO

À medida que a tecnologia foi melhorando e materiais mais sofisticados foram sendo desenvolvidos, a altura das estruturas e a sua esbelteza aumentaram. Estas novas estruturas têm uma maior flexibilidade e menor amortecimento, resultado do seu menor peso volúmico. Assim, estas estruturas são mais susceptíveis a movimentos induzidos pelo vento e dimensioná-las para resistir a este fenómeno é uma área de crescente importância. As estruturas que exemplificam estes casos são, tipicamente, os edifícios altos e as chaminés e torres.
O vento é a principal acção que induz flexão nestas estruturas, provocando vários efeitos e comportamentos resultantes das vibrações a ele associadas. Devido à flexibilidade destas estruturas, podem ocorrer grandes amplitudes de deslocamento, velocidades e acelerações, podendo provocar danos na estrutura e em partes não estruturais como paredes e fachadas. Em torres metálicas, por exemplo, pode ocorrer a redução da sua vida útil devido à fadiga e os sinais das torres de telecomunicações podem ser perturbados devido à vibração das antenas.
Existem vários fenómenos aeroelásticos, dos quais as instabilidades por galope, instabilidade aerodinâmica e as vibrações devidas ao desprendimento alternado de vórtices são exemplos. O desprendimento cadenciado de vórtices tem sido estudado amplamente ao longo dos anos, sendo uma acção susceptível de provocar vibrações de grandes amplitudes, principalmente quando ocorre o fenómeno chamado de "lock-in", também conhecido como trancamento ou captura de vórtices. Este ocorre quando, devido à velocidade do vento, a frequência do desprendimento é próxima da frequência natural transversal da estrutura, originando a separação dos vórtices segundo esta última frequência, para uma determinada faixa de velocidade do vento.
Este trabalho foca-se no estudo específico das estruturas isoladas de torres e chaminés de secção circular, sob a acção de vibrações transversais devidas ao desprendimento alternado de vórtices. Para tal, utiliza-se um modelo semi-empírico desenvolvido no domínio do tempo proposto por Pinheiro [6]. É essencialmente usado na obtenção de estimativas da amplitude transversal máxima esperada associada à vibração de torres, quando ocorre o lock-in. Na engenharia de vento muitas vezes é suficiente saber apenas esse parâmetro para proceder à análise e dimensionamento da estrutura.

2 • FORMULAÇÃO DO MODELO

Ao acontecer o escoamento de um fluido com uma determinada velocidade U sobre um corpo não aerodinâmico, vai ocorrer uma variação alternada das pressões na superfície desse corpo ao longo do tempo. Assim, desenvolvem-se forças periódicas sobre o corpo quando existe a separação sucessiva de vórtices em cada lado do cilindro. Se não existir nenhum obstáculo para o movimento do cilindro na direcção transversal à incidência do fluido, estas forças vão interagir com a movimentação do cilindro, originando as vibrações induzidas por desprendimento de vórtices.
Na dedução do modelo, é assumido que as condições de escoamento no cilindro são, aproximadamente, bidimensionais. Assume-se que o cilindro tem uma longa

superfície rígida e deslocamentos de corpo inteiro na direcção transversal ao escoamento. O cilindro possui amortecimento mecânico na mesma direcção, está apoiado elasticamente e impedido de se deslocar na direcção paralela ao vento. O escoamento é laminar com velocidade média uniforme.

A Figura 1 representa estas condições.

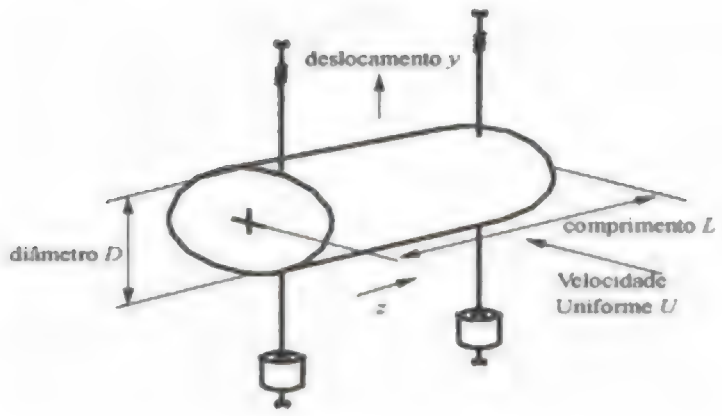


Figura 1: Esquema de um cilindro rígido com apoios elásticos [[3], [6]].

Se o cilindro também estiver impedido de se deslocar na direcção transversal ao vento, uma primeira aproximação razoável para a força por unidade de comprimento F actuando no cilindro no tempo t é dada por:

$$F = \frac{1}{2}\rho U^2 D C_L sen(\omega_1 t) \qquad (1)$$

onde ρ é a massa específica do ar, U é a velocidade do escoamento, D é a dimensão do cilindro (o diâmetro externo) na direcção perpendicular ao escoamento, C_L é o coeficiente de força lateral e $\omega_1 = 2\pi SU/D$, sendo S o número de Strouhal.
No entanto, quando o cilindro pode oscilar na direcção transversal, esta expressão simples para a força de excitação é inadequada. Se y for o deslocamento do cilindro na direcção lateral ao vento, então a equação do movimento é escrita na forma seguinte:

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F(y, \dot{y}, \ddot{y}, t) \qquad (2)$$

onde m é a massa do cilindro, c a constante de amortecimento mecânico e k a rigidez elástica.
Os modelos apresentados seguidamente são construídos a partir da expressão (2), combinando o modelo oscilador acoplado de Blevins com o modelo empírico não linear de Scanlan, incorporando depois a análise modal.

2.1 • MODELO OSCILADOR ACOPLADO DE BLEVINS

Neste modelo, o fluido na esteira é representado como um oscilador não linear auto-excitado, acoplado à estrutura [3].
As forças no cilindro são avaliadas de acordo com a teoria da dinâmica de fluidos, através da equação fundamental da continuidade. Descrições mais detalhadas podem ser encontradas na referência [3].
As amplitudes de deslocamento máximas na condição de ressonância (lock-in) podem ser expressas pelo produto do rácio da massa m com o factor de amortecimento ξ. Esta variável é o amortecimento reduzido δr, também chamado de número de Scruton:

$$\delta_r = \frac{2m(2\pi\xi)}{\rho D^2} = \frac{4m\pi\xi}{\rho D^2} \qquad (3)$$

As amplitudes de deslocamento máximas para uma estrutura cilíndrica no modo natural de vibração j são obtidas, na ressonância, por:

$$Ay = 0{,}07\gamma \frac{\sqrt{0{,}3 + \frac{0{,}72}{(1{,}9+\delta_r)S}}}{(1{,}9+\delta_r)S^2} D \qquad (4)$$

onde γ é um parâmetro geométrico que depende da forma modal ϕ. A Figura 2 mostra os resultados teóricos deste modelo em comparação com resultados experimentais.

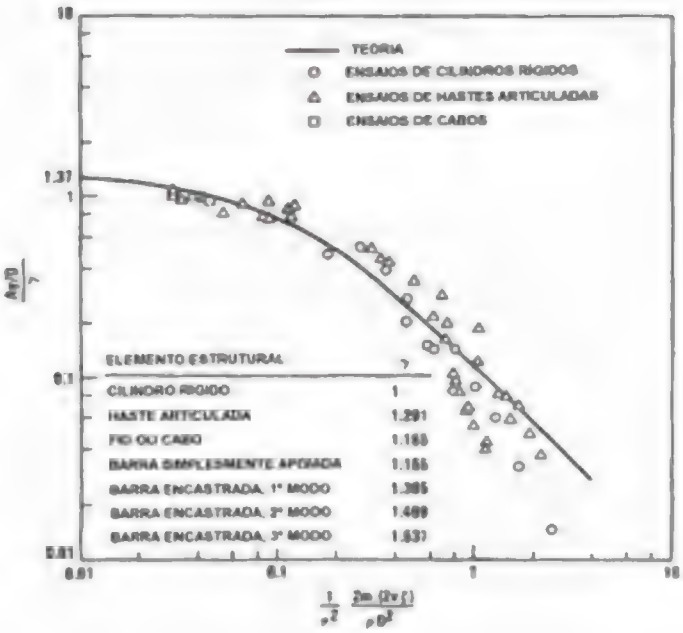


Figura 2: Amplitudes de deslocamento para cilindros rígidos e elásticos em função do amortecimento reduzido [3].

2.2 • MODELO EMPÍRICO NÃO LINEAR DE R. H. SCANLAN

Muitas vezes, basta obter as deflexões máximas de uma estrutura. Assim, existe interesse em ter um modelo que reproduza alguns dos principais resultados observados perto do trancamento.
Para construir tal modelo, é assumido que a excitação, amortecimento e rigidez aerodinâmicos são fornecidos a um oscilador mecânico linear. O modelo adquire a sua não linearidade através da inclusão de um termo cúbico aerodinâmico não linear. O seguinte modelo é formulado, em que a equação de movimento do fluido sob a força induzida por desprendimento de vórtices é:

$$m[\ddot{y} + 2\xi\omega_1\dot{y} + \omega_1^2 y] = \\ = \frac{1}{2}\rho U^2(D)\left[H_1(K)\left(1 - \varepsilon\frac{y^2}{D^2}\right)\frac{\dot{y}}{U} + H_2(K)\frac{y}{D} + \right. \\ \left. + \frac{1}{2}C_L(K)sen(\omega t + \alpha)\right] \quad com\ K = \frac{D\omega}{U} = 2\pi S \qquad (5)$$

onde H_1, H_2, C_L, ε e α são parâmetros de ajuste obtidos experimentalmente. H_1 está relacionado com o amortecimento aerodinâmico linear, H_2 com a rigidez aerodinâmica e ε é o parâmetro não linear do amortecimento aerodinâmico. ω_1 é a frequência natural do oscilador mecânico.
No "lock-in", C_L e H_2 podem ser desprezados pois são pequenos relativamente ao parâmetro de amortecimento aerodinâmico. H_1 e ε são determinados a partir da observação experimental de duas amplitudes de respostas ressonantes Ay_1 e Ay_2, para dois valores de amortecimento ξ_1 e ξ_2. O valor da amplitude de deslocamento Ay é assim:

$$Ay = 2\left[\frac{(\rho U D H_1 - 4m\xi\omega)D}{\rho U H_1 \varepsilon}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (6)$$

Substituindo Ay_1, Ay_2 e ξ_1, ξ_2 na equação anterior, temos então os parâmetros experimentais, que podem ser usados para prever a resposta de uma estrutura em condições semelhantes:

$$H_1 = \frac{8m\pi S(\xi_2 Ay_1^2 - \xi_1 Ay_2^2)}{D^2\rho(Ay_1^2 - Ay_2^2)} \qquad (7)$$

$$\varepsilon = \frac{4(\xi_1 - \xi_2)D^2}{\xi_1 Ay_2^2 - \xi_2 Ay_1^2} \qquad (8)$$

2.3 • MODELO SEMI-EMPÍRICO DE PINHEIRO

Este modelo assenta nos dois anteriores, expandindo as suas condições bidimensionais para um caso tridimensional. Usa-se o conceito de células de vórtices para dividir a torre de secção variável sob a acção de vento de velocidade variável U(z), em trechos nos quais há desprendimento de vórtices numa determinada frequência (Figura 3).

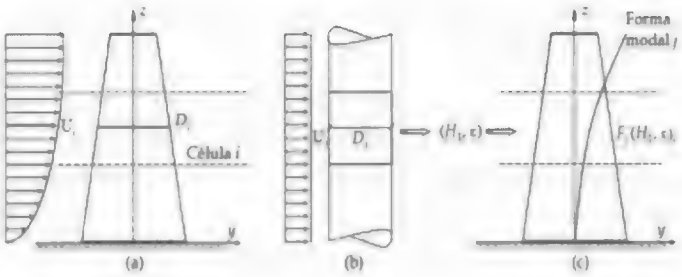


Figura 3: Esquema do modelo analítico de Pinheiro para vibrações induzidas de vórtices em torres esbeltas: (a) células de vórtices em torre de secção variável sob acção de vento com velocidade U(z); (b) estrutura de secção circular constante sob acção de velocidade uniforme (modelo 2D); (c) força aeroelástica generalizada F_j associada ao modo j de vibração [6].

Assim, em cada célula i existe uma frequência f_i, associada a valores médios de um diâmetro Di e velocidade Ui, relacionados com o número de Strouhal da secção de acordo com a seguinte equação:

$$S = \frac{f_i D_i}{U_i} \qquad (9)$$

Através do modelo bidimensional de Scanlan, tem-se que a força aeroelástica F(z) em cada trecho é:

$$F(z,t) = \frac{1}{2}\rho U_i^2(D_i)\left[H_1\left(1 - \frac{\varepsilon y^2}{D_i^2}\right)\frac{\dot{y}}{U_i} + \right. \\ \left. + C_L sen(\omega_e t + \alpha)\right] \qquad (10)$$

onde y é o deslocamento da estrutura em função do tempo. Considera-se que cada trecho está inserido numa estrutura rígida infinita de secção constante D_i, sob acção de vento laminar U_i, segundo a Figura 3.b.
Usam-se os resultados teóricos do modelo de Blevins para determinar as amplitudes de vibração Ay em função do número de Scruton, calculando assim H_1 e ε.
As forças F(z) por unidade de comprimento em cada trecho i são então combinadas e transformadas em forças generalizadas, obtendo-se a equação de movimento da estrutura da torre em termos da amplitude Y_j do seu modo j de vibração:

$$M_j(\ddot{Y}_j + 2\xi_j\omega_j\dot{Y}_j + \omega_j^2 Y_j) = Fm_j(H_1, \varepsilon) \qquad (11)$$

onde M_j, ξ_j, ω_j são, respectivamente, a massa, amortecimento e frequência natural da estrutura associados ao modo natural de vibração j. Fm_j é a força modal, função da forma modal $\phi_j(z)$ e da força por unidade de comprimento F(z). A força modal Fm_j toma, por sua vez, a seguinte forma:

$$Fm_j = \int \phi_j(z)F(z)dz \qquad (12)$$

2.3.1 • OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS H_1 E ξ

A determinação de H_1 e ε é feita através de duas amplitudes Ay para dois valores de ξ diferentes, em cada célula com um determinado valor de velocidade de vento U, como se demonstra na Figura 3, que esquematiza a resposta característica de um cilindro rígido de secção constante (modelo bidimensional na Figura 3.b).
Sendo o número de Strouhal para secções circulares em regime subcrítico aproximadamente S = 0,2, a velocidade reduzida é portanto U_r = 5 (1 / S = 1 / 0,2 = 5), valor para o qual são determinados, então, os valores máximos de Ay1 e Ay2.
De acordo com o modelo de Blevins, em cada célula de vórtices tiram-se Ay_1 e Ay_2 através das equações deste modelo, representadas graficamente na Figura 2 em função do número de Scruton:

$$Ay_n = 0{,}07\frac{\sqrt{0{,}3+\frac{0{,}72}{(1{,}9+\delta_r)S}}}{(1{,}9+\delta_r)S^2}D_{cel} \qquad (13)$$

$$\delta_r = \frac{4m_{cel}\pi\xi_n}{\rho D_{cel}^2} \qquad com\ n = 1\ or\ 2$$

Considerando os resultados experimentais dados na referência [3], admitiram-se respostas lineares nos intervalos 4,0 < U_r < 5,0 e 5,0 < U_r < 6,0, pois através dos modelos estudados apenas se conseguem obter os valores máximos. Tal simplificação encontra-se representada na Figura 4. Para obter outros valores de amplitude para além dos máximos, para velocidades reduzidas diferentes de 5, basta fazer uma interpolação linear entre os valores já encontrados.

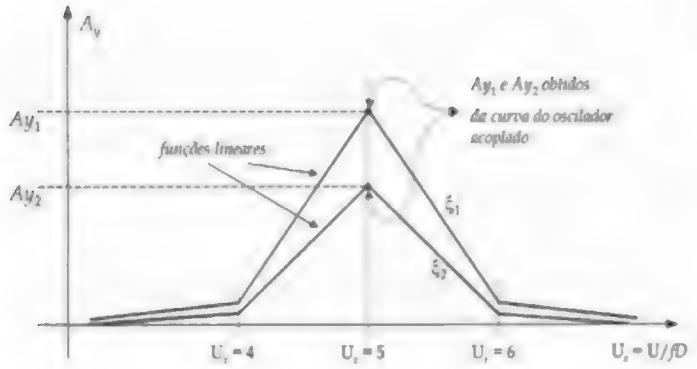


Figura 4: Curvas linearizadas de amplitude em função da velocidade reduzida para diferentes valores de U, utilizadas na determinação dos parâmetros H_1 e ε [6].

A faixa de trancamento ou lock-in é definida considerando uma variação de 20% em torno da frequência crítica de desprendimento de vórtices. Fora desta faixa admite-se que o cilindro rígido apresenta deslocamentos reduzidos que podem ser desprezados. Adopta-se também a simplificação de desprezar os resultados para velocidades reduzidas menores que 4 ou maiores que 6, uma vez que as amplitudes obtidas são muito pequenas e, como tal, irrelevantes para este estudo, apesar de na Figura 4 esta consideração não estar totalmente explícita.
Deste modo, e utilizando os dados anteriores, obtêm-se os parâmetros H_1 e ε através das seguintes fórmulas, já escritas em cima de outra forma:

$$H_{1,cel} = \frac{8m_{cel}\pi S}{\rho D_{cel}^2}\left(\frac{Ay_1^2\xi_2 - Ay_2^2\xi_1}{Ay_1^2 - Ay_2^2}\right) \qquad (14)$$

$$\varepsilon_{cel} = \frac{4D_{cel}^2(\xi_1 - \xi_2)}{Ay_2^2\xi_1 - Ay_1^2\xi_2} \qquad (15)$$

Seguidamente, é apresentado o caso simples de uma torre de secção constante sob vento de velocidade constante ao longo da sua altura.

2.3.2 • TORRE DE SECÇÃO CONSTANTE SOB A ACÇÃO DE VENTO DE VELOCIDADE CONSTANTE AO LONGO DA ALTURA

Procede-se à extensão do modelo bidimensional explicado em cima, aplicado a uma estrutura de comprimento infinito (Figura 5.a), a uma torre encastrada e livre como a da Figura 5.b, incorporando-se a forma modal. Considera-se, como simplificação, que o desprendimento de vórtices se dá numa única frequência, o que implica a existência de apenas uma célula de vórtices.

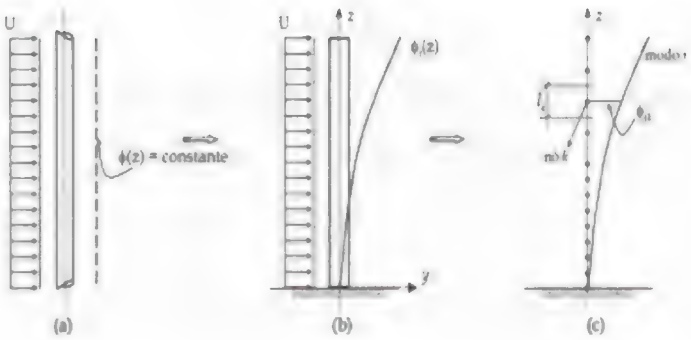


Figura 5: Incorporação da forma modal (b) ao modelo rígido (a) e correspondente discretização (c) [6].

A força modal pode ser escrita na forma de somatórios modais, obtendo-se finalmente:

$$Fm_j = \frac{1}{2}\rho U^2 D \times$$
$$\times \left[H_1 \left(\sum_k \phi_{jk}^2 l_k - \frac{\varepsilon Y_j^2}{D^2} \sum_k \phi_{jk}^4 l_k \right) \frac{\dot{Y}_j}{U} + \right. \qquad (16)$$
$$\left. + \sum_k C_L \phi_{jk} l_k sen(\omega_e t + \alpha) \right]$$

onde lk são os comprimentos de influência de cada nó k. Seguidamente, resolve-se o sistema de equações (11) no domínio do tempo pelo método de Runge-Kutta para alguma condição inicial. Os deslocamentos em qualquer ponto da torre são obtidos, por sobreposição modal. A correlação espacial também é considerada.

2.3.3 • TORRE DE SECÇÃO VARIÁVEL SOB A ACÇÃO DE VENTO DE VELOCIDADE CONSTANTE AO LONGO DA ALTURA

Para o caso mais geral de uma torre de secção variável sob a acção de vento de velocidade variável ao longo da altura, incorporando a correlação espacial, a expressão da força modal tem o seguinte formato:

$$Fm_j = \frac{1}{2}\rho \left[\left(\sum_k \overline{\phi}_{jk} \phi_{jk}^2 l_k H_{1,i} D_k U_k - \right. \right.$$
$$\left. - Y_j^2 \sum_k \frac{\overline{\phi}_{jk} \phi_{jk}^4 l_k H_{1,i} \varepsilon_i U_k}{D_k} \right) \dot{Y}_j + \qquad (17)$$
$$\left. + \sum_k \overline{\phi}_{jk} C_{L,i} \phi_{jk} l_k D_k U_k^2 sen(\omega_{s,i} t + \alpha) \right]$$

onde $\overline{\phi}$ é a função de forma da correlação espacial e o subscrito i refere-se a cada célula de vórtices.

3 • DESPRENDIMENTO DE VÓRTICES PELO EUROCÓDIGO

O Eurocódigo fornece um método simples para estimar as vibrações induzidas por desprendimento de vórtices em estruturas. Neste trabalho, opta-se apenas pela aplicação do Método 1, uma vez que é um método mais geral que pode ser utilizado para vários tipos de estruturas e de configurações modais. O deslocamento máximo, $y_{F,max}$, é calculado pela seguinte expressão:

$$\frac{y_{F,max}}{b} = \frac{1}{St^2} \cdot \frac{1}{Sc} \cdot K \cdot K_W \cdot c_{lat} \qquad (18)$$

onde b é o diâmetro exterior do cilindro de base circular, St o número de Strouhal, Sc o número de Scruton, KW o coeficiente de comprimento de correlação efectivo, K o coeficiente de configuração modal e clat é o coeficiente de força lateral. Explicações detalhadas podem ser encontradas no EC 1-4, anexo E. Nota-se que a metodologia proposta pelo Eurocódigo é simplista, não considerando vários parâmetros que podem influenciar a resposta e podendo originar resultados distantes da realidade. As amplitudes deste método são em geral baixas comparativamente a outros métodos. Deve ser então aplicado com uma análise cuidada e após proceder à sua correcta calibragem, particularmente em relação à taxa de amortecimento.

4 • RESULTADOS

4.1 • DESCRIÇÃO GERAL DOS EXEMPLOS

As estruturas examinadas seguidamente são, tal como referido, apenas estruturas cilíndricas com secção circular, pois é esse o domínio de aplicação do modelo estudado. São analisadas uma haste cilíndrica com menos de 1 m de altura e duas chaminés com alturas a rondar os 100 m. As estruturas são compostas por materiais diferentes, variando também o nível de amortecimento, os perfis de velocidade do vento aplicados e as dimensões das secções transversais.

4.2 • EXEMPLO 1 - HASTE DE MADEIRA EM TÚNEL DE VENTO

Neste exemplo procede-se a uma comparação entre os resultados obtidos em túnel de vento para uma haste cilíndrica de secção constante, segundo a referência [2], e os resultados teóricos calculados pelos métodos de Pinheiro e do EC 1-4. A Figura 6 representa a esquematização do modelo de teste utilizado no túnel de vento e as dimensões da secção transversal da haste cilíndrica.

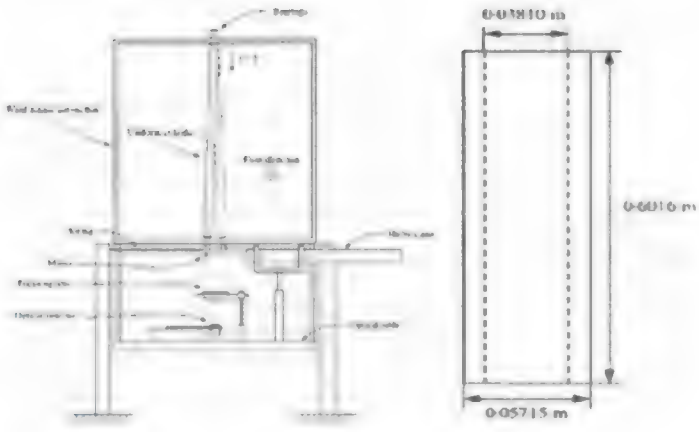


Figura 6: Esquema da haste e respectivas dimensões [2].

A haste é feita de madeira de densidade $\rho_{madeira}$ = 540 kg/m³. A massa por unidade de comprimento é m = 0,77 kg/m. O seu topo está rotulado e a rigidez foi aumentada acoplando transversalmente duas molas lineares na sua base livre, cada uma com rigidez K = 1988 N/m. A frequência natural é f = 20,2 Hz e a taxa de amortecimento é ξ = 0,0031. Foram aplicados um perfil de velocidade constante e outro linear. O perfil constante foi aplicado com incrementos sucessivos de velocidade e o perfil linear imposto com a velocidade máxima a ocorrer na extremidade livre inferior do cilindro, procedendo a incrementos ou decrementos progressivos da velocidade. O perfil da velocidade variável é dado pela expressão (19). Os resultados obtidos são apresentados na Figura 7 e Figura 8.

$$V(z) = V_0(1 + 0.88z) \qquad (19)$$

onde V_0 é a velocidade em z = 0.

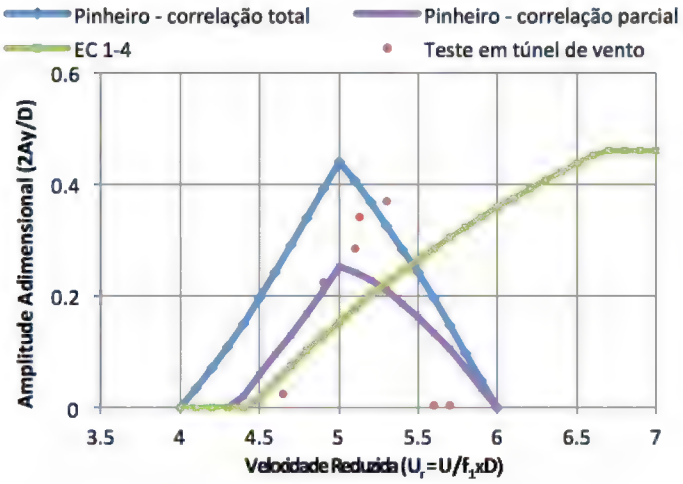


Figura 7: Amplitude de resposta do cilindro sob perfil constante de velocidade do vento, para o primeiro modo de vibração

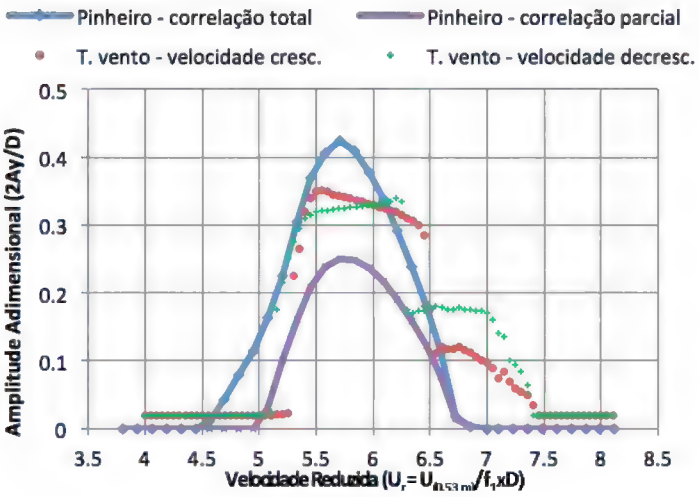


Figura 8: Amplitude de resposta do cilindro sob perfil linear de velocidade do vento, para o primeiro modo de vibração.

Para vento constante, as amplitudes adimensionais máximas obtidas no modelo de Pinheiro são de 0,44 e 0,25 para correlação total e parcial, respectivamente, ambas para U_r = 5. Comparando com o túnel de vento, verifica-se uma boa conformidade entre ambos, com ligeiras diferenças nas amplitudes e velocidades reduzidas para as quais aquelas ocorrem. A faixa de trancamento de Pinheiro é mais larga que a experimental. Estas diferenças devem-se a alguns factores como disparidades no número de Strouhal, com a consequente influência na velocidade crítica e nas frequências naturais, e até devido à discretização da haste no programa de elementos finitos, influenciando a forma modal obtida. A correlação total é um limite superior da resposta, com melhores resultados neste caso específico, sendo uma hipótese mais fidedigna. A máxima amplitude experimental corresponde à média das amplitudes máximas para ambas as correlações.

A amplitude máxima segundo o Eurocódigo é 0,46, quase igual à do método de Pinheiro para correlação total, embora ocorra para uma velocidade reduzida maior. A forma do gráfico é diferente dos outros porque a formulação do EC 1-4 consiste numa simples multiplicação de parâmetros. Estes aumentam com o crescimento da velocidade do vento até um certo limite a partir do qual permanecem fixos, e daí a amplitude ser igual para velocidades reduzidas maiores que 6,7.
Para vento linear, as amplitudes máximas são 0,43 e 0,25 para correlação total e parcial, respectivamente, para $U_r \approx 5{,}70$. Existe concordância razoável nos resultados, sobretudo na correlação total, pois é uma hipótese mais adequada devido à bidimensionalidade do escoamento, exemplificado pela secção transversal constante. Não existem resultados do EC 1-4 para velocidade linear porque o Método 1 implica que o cilindro esteja sujeito a velocidade constante, pois apenas se querem calcular os deslocamentos máximos.

4.3 • EXEMPLO 2 - CHAMINÉ DE BETÃO ARMADO EM ITÁLIA

Comparam-se os resultados obtidos com um método numérico referenciado em [4] com os calculados pelos modelos de Pinheiro e do EC 1-4. A chaminé em estudo está representada na Figura 9.

Figura 9: Chaminé de betão armado em Trieste, Itália [4]

A estrutura de 100 m de altura é cilíndrica, com secção transversal constante de diâmetros exterior e interior de 6,3 m e 5,7 m, respectivamente. A densidade é $\rho_{betão}$ = 2500 kg/m^3 e a massa por unidade de comprimento m = 14137 kg/m. A frequência natural é f = 0,37 Hz. Foi aplicado um perfil constante de velocidade ao longo da altura, sendo aumentado progressivamente à semelhança do exemplo anterior, variando apenas o coeficiente de amortecimento ξ. Apenas foi considerada a correlação total, pois o escoamento é fortemente influenciado por condições bidimensionais. Os resultados são apresentados nas figures seguintes.

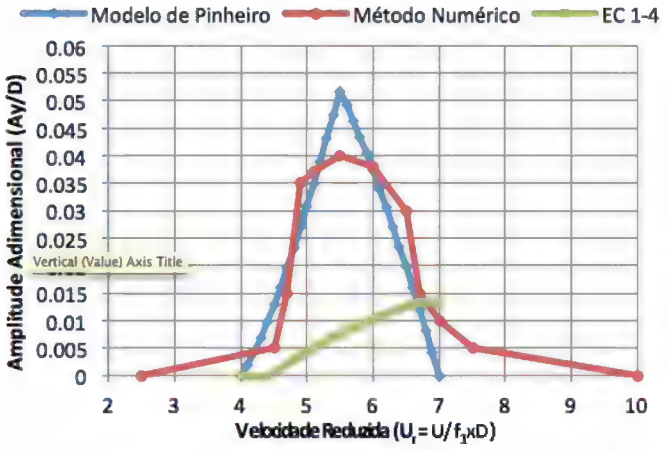


Figura 10: Amplitude de resposta da chaminé sob velocidade constante para o primeiro modo de vibração, com ξ = 0,01.

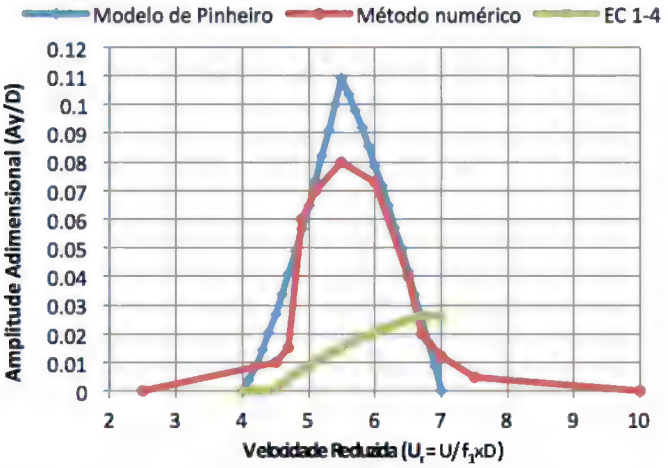


Figura 11: Amplitude de resposta da chaminé sob velocidade constante para o primeiro modo de vibração, com ξ = 0,005.

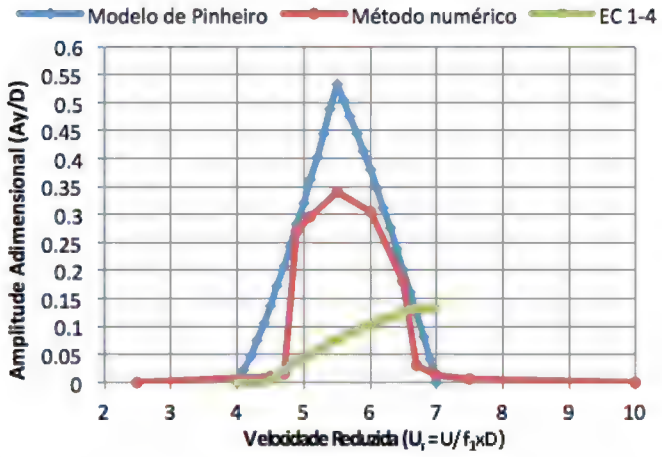


Figura 12: Amplitude de resposta da chaminé sob velocidade constante para o primeiro modo de vibração, com ξ = 0,01.

O intervalo de trancamento da Figura 4 foi alterado para estar melhor ajustado aos resultados numéricos. Considera-se que o trancamento se inicia em U_r = 4 e termina em U_r = 7, com o pico ocorrendo em U_r = 5,5.

As amplitudes adimensionais máximas para o modelo de Pinheiro são de 0,0518, 0,1092 e 0,5319, para ξ = 0,01, ξ = 0,005 e ξ = 0,001, respectivamente, ocorrendo para U_r = 5,5. Existe boa concordância entre os resultados. As discrepâncias observadas são explicadas pelas mesmas razões do exemplo 1. Verifica-se que, conforme o amortecimento diminui, as diferenças entre as amplitudes dos dois métodos vão aumentando. Tal acontece porque o método numérico tem maiores capacidades auto-limitativas da amplitude em condições críticas não amortecidas, comparativamente ao método de Pinheiro. A forma do gráfico do EC 1-4 é equivalente ao do exemplo 1, mas os resultados são bastante diferentes, sendo cerca de um terço dos outros dois métodos. Este método é muito sensível à grandeza do amortecimento ξ, podendo dar resultados bastante mais baixos. Conclui-se que o EC 1-4 deve geralmente aplicar-se com valores mais conservativos de amortecimento, requerendo um ajuste e calibragem cuidadosos ao efectuar a sua comparação com outros métodos.

4.4 • EXEMPLO 3 - CHAMINÉ DE AÇO NA TAILÂNDIA

Comparam-se os resultados obtidos com o modelo de Vickery-Basu referenciado em [1] com os calculados pelos modelos de Pinheiro e do EC 1-4. A chaminé analisada está representada na Figura 13.

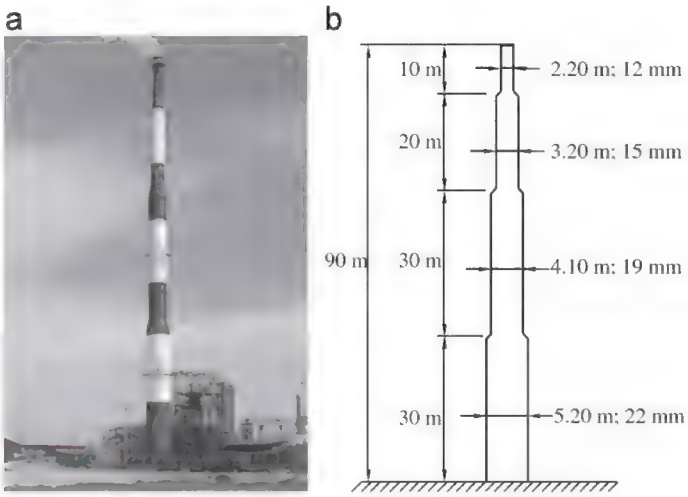


Figura 13: (a) Chaminé de aço com 90 m de altura em Rayong, Tailândia. (b) Dimensões básicas da chaminé [1].

A chaminé tem 90 m de altura e secção transversal cilíndrica sem revestimentos. É composta por quatro secções soldadas entre si, com diâmetros e espessuras diferentes, conforme a Figura 13.b. O aço tem densidade $\rho_{aço}$ = 7850 kg/m^3, e a massa média por unidade de comprimento é m = 1907 kg/m, sendo a massa total de cerca de 177000 kg. A frequência natural é f = 0.93 Hz. Como as secções constituintes da chaminé têm diâmetros diferentes, logo têm velocidades críticas diferentes. Para obter então a máxima resposta de amplitude, foram aplicadas velocidades de vento diferentes nas secções, mas constantes ao longo de cada uma. Assim, para U_r = 5 em todas as

secções, foram aplicadas velocidades de 24,18 m/s, 19,07 m/s, 14,88 m/s e 10,23 m/s para as secções desde a base até ao topo, respectivamente.

Apenas as amplitudes máximas são comparadas, pois são os resultados mais importantes e em [1] apenas se indicam estes valores, sem qualquer menção às velocidades reduzidas para os quais são obtidos. Os resultados são apresentados na tabela seguinte.

	Amplit. máx. de deslocamento (m)		
Amort. (ξ)	Pinheiro	Vickery-Basu	EC 1-4
0,01	0,39	0,40	0,037
0,02	0,19	0,14	0,019
0,03	0,12	0,11	0,012
0,04	0,09	0,09	0,009
0,05	0,07	0,08	0,007

TABELA 1: (Amplitudes absolutas máximas de deslocamento da chaminé, para várias taxas de amortecimento.

As amplitudes têm boa concordância, excepto para o método do EC 1-4. Novamente, à medida que o amortecimento diminui, maiores são as amplitudes. Este crescimento da amplitude é exponencial, por razões já mencionadas anteriormente. Os resultados do EC 1-4 são similares aos exemplos precedentes, sendo cerca de um décimo dos calculados pelos outros dois métodos. A razão para tal acontecer já foi explicada.

5 • SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O modelo de Pinheiro demonstra ter potencial para ser aplicado a situações mais gerais e complexas. Estas podem passar pela consideração de outros regimes de escoamento para além do subcrítico, tais como o crítico e o supercrítico, ou pela implementação de diferentes configurações realistas de células de vórtices. A extensão do modelo a outros tipos de estruturas e secções transversais, para além das torres e chaminés e da secção circular, é igualmente interessante.

6 • CONCLUSÕES

Os efeitos do vento perpendicularmente à direcção da sua actuação nas estruturas é um assunto complexo que ainda está longe de ser totalmente compreendido.
Foi apresentado um modelo semi-empírico desenvolvido por Pinheiro para a estimativa de amplitudes de deslocamento transversal em torres de secção circular sob a acção do vento, quando ocorre o fenómeno de desprendimento de vórtices.
Foram comparados resultados experimentais de modelos reduzidos ensaiados sob escoamento laminar em túnel de vento e resultados obtidos por outros métodos numéricos e teóricos. Nos exemplos estudados verificou-se existir uma boa concordância entre todos os resultados, apesar das dificuldades e incertezas que existem na análise dos problemas. Apenas em alguns casos houve a necessidade de proceder a uma calibragem e ajuste dos parâmetros de entrada do modelo de Pinheiro, como, por exemplo, através da alteração da janela de lock-in predeterminada.

Já a comparação com o método do Eurocódigo produziu resultados insatisfatórios. Apenas no exemplo 1 as amplitudes máximas obtidas pelos dois métodos foram praticamente iguais, o que demonstra que é um modelo que deve ser utilizado com precaução, sem descurar outros métodos que possam eventualmente ser mais exactos. Tal como referido, a escolha do amortecimento deve ser muito criteriosa e ponderada, pois é um parâmetro de extrema relevância no EC 1-4.

Conclui-se que o modelo de Pinheiro constitui uma ferramenta bastante útil na análise do fenómeno de desprendimento de vórtices em torres circulares. O modelo foi utilizado numa forma elementar mas tem simultaneamente bastante potencial para ser estendido a casos mais gerais e amplos, desde que se conheçam determinados parâmetros fundamentais.

Como tal, o método estudado neste trabalho é um instrumento bastante vantajoso, mas que não deve ser nunca utilizado isoladamente. Deve ser antes utilizado em conjunto e em complementaridade com outras ferramentas em diferentes fases do projecto, de modo a assegurar uma análise exaustiva, fiável e de qualidade.

7 • REFERÊNCIAS

[1] Areemit, N. & Warnitchai, P. (2001). Vibration Suppression of a 90-m-Tall Steel Stack by Using a High-Damping Tuned Mass Damper. The Eighth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. Nanyang Technological University, Singapore.

[2] Balasubramanian, S., Skop, R. A., Hann Jr., F. L. & Szewczyk, A. A. (2000). Vortex-Excited Vibrations of Uniform Pivoted Cylinders in Uniform and Shear Flow. Journal of Fluids and Structures, 14, 65-85.

[3] Blevins, R. D. (1977). Flow Induced Vibration. Van Nostrand Reinhold Company New York.

[4] D'Asdia, P. & Noè, S. (1998). Vortex Induced Vibration of Reinforced Concrete Chimneys: In Situ Experimentation and Numerical Previsions. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 74-76, 765-776.

[5] Norma Portuguesa NP EN 1991-1-4 2010. (2010). Eurocódigo 1 - Acções em Estruturas, Parte 1-4: Acções Gerais - Acções do Vento. LNEC.

[6] Pinheiro, M. A. (2004). Vibrações Aeroelásticas em Torres Esbeltas. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.

[7] Simiu, E. & Scanlan, R. H. (1996). Wind Effects on Structures. John Wiley & Sons, Inc.

/**

APPY WINNERS

*/

O BPI lançou a 1ª edição do APPY DAY BPI, uma maratona de 24 horas para o desenvolvimento de aplicações mobile, que decorreu nos dias 13 e 14 de Dezembro, no LX Factory, em Lisboa.

O BPI agradece a todos os que, individualmente ou em equipa, participaram e dá os parabéns aos vencedores.

1º PRÉMIO

PRÉMIO DO PÚBLICO

PHARMASSIST

Diogo Pereira

Pharmassist foi o grande vencedor desta 1ª edição, ao conquistar o 1º lugar e o Prémio do Público, votado pelos participantes. Recebeu, pelo 1º lugar, um prémio de 10 mil euros, um iPad, uma anuidade ZON4i e uma sessão de formação na Google em Londres, com viagem e alojamento incluídos. Recebeu, pelo Prémio do Público, 4 mil euros, um tablet Windows 8 e acesso preferencial aos workshops hands-on-labs da Microsoft.

2º PRÉMIO ex aequo

ROBIN FOOD

João Neves, Tiago Simões, Vasco Pessanha, Miguel Ventura

Robin Food conquistou o 2º lugar ex aequo e recebeu um prémio de 6 mil euros, mais um smartphone Windows 8, um Hotspot 4G, uma anuidade Kanguru 4G 100 e uma entrada no programa Apps made in Portugal da Microsoft, para cada elemento da equipa.

2º PRÉMIO ex aequo

FOTURA

Ricardo Teixeira, Henrique Sousa, Luís Pereira, Nuno Oliveira

Fotura conquistou também o 2º lugar ex aequo e recebeu um prémio de 6 mil euros, mais um smartphone Windows 8, um Hotspot 4G, uma anuidade Kanguru 4G 100 e uma entrada no programa Apps made in Portugal da Microsoft, para cada elemento da equipa.

Conheça os projectos vencedores em appydaybpi.pt

APPY DAY BPI
24 horas para criar uma App

Parceiros:

Leonor Guedes da Silva

ENTREVISTA

Estudante do mestrado em Engenharia Biológica do IST, Leonor Guedes da Silva coordenou uma equipa de investigação que venceu a edição 2013 do Prémio do Melhor Projecto do Mestrado de Tecnologia e Ciências da Vida da Delft University of Technology. O projecto baseava-se no processo bioquímico que permite alterar os actuais processos de produção de energia por queima directa de pellets de madeira, transformando-os em etanol e ácido succínico, reduzindo em cerca de 44% as emissões de CO_2 para a atmosfera. A Técnica falou com a Leonor sobre a experiência e de como esta se irá repercutir no seu futuro profissional.

Porquê Engenharia Biológica? Sempre foi clara a ideia de seguir a área das ciências?

Apesar do meu fascínio pelo ser humano (que naturalmente me atraía para Medicina), o Instituto Superior Técnico sempre foi a minha primeira escolha de escola por ser uma instituição de excelência com várias ligações a universidades estrangeiras que fazem com que este seja, no fundo, "uma ponte para o mundo".

A grande questão que então se pôs foi: Como conciliar este fascínio e a vontade de pertencer ao Técnico? Felizmente, encontrei a minha resposta em Engenharia Biológica; um curso versátil, que combina a matemática, a química, a física e a biologia num só e que me permitirá aceder a um vasto leque de saídas profissionais desde a investigação à industria, passando também por gestão e consultoria.

Porquê o Instituto Superior Técnico na tua escolha e em que medida consideras que foi uma mais-valia em termos curriculares?

Enquanto estive no estrangeiro, apercebi-me que os alunos do Técnico possuem tantas ou mais capacidades quanto alunos vindos de universidades do topo dos rankings mundiais. Esta percepção é bastante reconfortante e penso que este facto se deve à excelente "bagagem" académica e extracurricular que o Técnico providencia aos seus alunos e que, apesar da atual situação portuguesa, é o principal motivo que mantém elevada a empregabilidade dos alunos diplomados desta instituição.

Leonor Guedes da Silva

Como escolheste o país para Erasmus? Ou seja, quais os aspectos que te levaram a tomar a tua decisão? Pensaste antecipadamente nas novas oportunidades que lá poderias encontrar?

Dado que fui em Erasmus um ano e no modo "unidades curriculares", a compatibilidade entre o meu curso e a universidade para onde ia era importante. TU Delft tem um programa de Engenharia Bioquímica semelhante ao nosso e, por isso, a compatibilidade estava garantida. Para além deste factor, TU Delft é uma universidade de excelência, com óptimas condições e que, em conjunto com a industria, faz bastante investigação na minha área. Para além disso, está situada na Holanda, Um país onde a qualidade de vida é uma das melhores do mundo. um vasto leque de saídas profissionais desde a investigação à indústria, passando também por gestão e consultoria.

Como foi a estadia em Delft em termos académicos?

Em termos académicos, TU Delft excedeu as minhas expectativas. Para além do que mencionei anteriormente, permitiu-me ver o conceito "universidade" de uma maneira diferente, onde o balanço entre as atividades académicas e extracurriculares não é só importante, como é encorajado, dado que para o empregador é essencial que o candidato possua não só competências técnicas mas como também soft-skills (saber comunicar, trabalhar em grupo, etc.).

Fala-nos um pouco do projecto que integraste enquanto estiveste a fazer Erasmus, de que se tratou esta investigação? Como surgiu esta ideia inovadora?

O objectivo do meu professor era juntar grupos de alunos, com diversos backgrounds dentro da bioengenharia, para trabalharem juntos num caso real, relevante para a indústria nacional e internacional, transformando o seu conhecimento num plano de negócios apoiado por um projeto técnico-económico conceptual para a produção integrada de biocombustíveis-bioquímicos-bioenergia (neste caso, produção de bioetanol a partir de pellets de madeira e captura de CO_2 para produção de químicos de alto-valor-acrescentado). No final, os planos de negócios foram apresentados a um júri de indústrias, professores e investidores. O nosso foi o melhor e por isso recebemos um prémio.

Como foi trabalhar em equipa e coordenar um projecto tão vanguardista?

Foi sobretudo desafiante, pois para além de termos de assumir responsabilidades perante terceiros (cliente), tínhamos a motivação adicional de conseguir uma boa classificação numa das unidades curriculares mais importantes do mestrado. A tarefa que me coube foi muito facilitada pela excelente qualidade do grupo (que resultou de um sorteio) e pelo elevado empenhamento de todos, sobretudo cumprindo o plano que elaborámos para a distribuição de tarefas.

Quais os aspectos que te fascinaram durante esta investigação e, pelo contrário, quais os maiores desafios que tiveste de superar?

Para mim, este foi um projeto aliciante por tratar de um problema de grande atualidade e motivador por sentir que estava a contribuir para a resolução de um problema que nos afecta a todos (sobre-exploração de recursos não renováveis e consequente emissão excessiva de CO2). Para além disso, é sempre um desafio tentar resolver problemas que ainda ninguém resolveu, mas em contrapartida a dificuldade é acrescida dada à falta de publicações sobre o tema.

Entretanto, já recebeste propostas de financiamento para dar continuidade ao projecto? Gostarias de continuar a desenvolver e aprofundar formas de substituir os petroquímicos através da utilização de outros resíduos?

O design ainda está apenas na fase conceptual pelo que terá de ser aprofundado por engenheiros e/ou alunos de doutoramento profissional em engenharia (um programa holandês para preparação de mestres para o trabalho em industria baseado em design aplicado à engenharia). Dentro ou não deste projeto, gostaria bastante de continuar a contribuir para o desenvolvimento de uma "bio-economia" sustentável que se baseia na produção de químicos, materiais e energia a partir de bio-recursos renováveis em vez do tradicional petróleo.

Depois de venceres este prémio surgiram-te novas oportunidades? Propostas de integração noutras investigações?

A noção de oportunidade depende da perspectiva de cada um de nós; no meu caso, não tive propriamente ofertas de emprego mas tenho a certeza de que o conhecimento adquirido durante o projeto e as ligações estabelecidas abrir-me-ão novas oportunidades às quais, possivelmente, sem ele não teria acesso.

Projectos futuros, já tens algo em mente? Pretendes seguir uma carreira na área da investigação científica?

Ainda tenho quase um ano pela frente até acabar o meu mestrado, por isso muita coisa pode mudar. Gostaria de fazer uma breve passagem pela industria para sair um pouco do meio académico e "ganhar outra perspectiva" e depois gostaria de fazer um doutoramento.

Do teu ponto de vista, qual/quais o/s aspecto/s mais recompensadores de trabalhar no âmbito da investigação?

Trabalhar em investigação não é fácil, não é como fazer um exame em que a matéria vem nos livros, é preciso ser-se criativo, paciente e persistente. A recompensa do trabalho árduo de um investigador aparece com as "pequenas conquistas" feitas em direção a uma possível solução do problema em estudo, especialmente quando o problema tem um grande impacto na sociedade.

Quais os conselhos que darias aos estudantes do IST que gostariam de envergar pela área da investigação?

Antes de decidirem se gostariam ou não de seguir pela investigação, ou até mesmo que área de investigação gostariam de seguir, experimentem investigação em diversos temas; aproveitem as oportunidades criadas pelos vossos núcleos de alunos (como por exemplo o programa de estágios do NEBIST) e alarguem os vossos horizontes. É importante descobrirem o que vos realizará mais na vossa vida porque "quem corre por gosto, não cansa".

CENTROS DE INVESTIGAÇÃO: CEG-IST

O Centro de Estudos em Gestão do Instituto Superior Técnico (CEG-IST) é uma unidade de investigação em Gestão integrada numa escola de Engenharia, dedicada à análise de temáticas que promovem a interacção entre gestão e tecnologia. A investigação em sistemas de engenharia e gestão procura analisar problemas relacionados com a gestão de sistemas e tecnologias utilizando métodos quantitativos para formular problemas complexos e propor soluções robustas que sejam aplicáveis a decisões e estratégias empresariais e de políticas públicas.

A missão do CEG-IST consiste em:
- Criar, desenvolver e partilhar novo conhecimento;

- Validar o conhecimento criado junto da comunidade académica e da sociedade em geral; e

- Contribuir para a formação de investigadores e para a melhoria do ensino universitário.

Estabelecido em 1999, o CEG-IST integra actualmente 31 investigadores doutorados e mais de 40 alunos de investigação. Os investigadores do Centro focam primordialmente as seguintes áreas:

- Análise de Decisão;

- Operações e Logística;

- Optimização;

- Análise de Desempenho; e

- Inovação, Empreendedorismo e Desenvolvimento.

O CEG-IST desenvolveu um sistema interno de avaliação da actividade científica dos seus investigadores baseado na sua produtividade e na qualidade das publicações. Este sistema serve de guia para a afectação de recursos financeiros às actividades científicas dos membros. As publicações recentes dos membros do CEG-IST incluem artigos numa diversidade de revistas internacionais, incluindo, por exemplo: Journal of the Operational Research Society; Omega; Energy Policy; Journal of Productivity Analysis; Research Policy, European Economic Review; and MIT Evolutionary Computing Journal.

O Instituto:
Criado no âmbito do Programa CIÊNCIA em 1992, o IDMEC – Instituto de Engenharia Mecânica é uma Associação privada sem fins lucrativos, tendo como membros fundadores o Instituto Superior Técnico (IST) da Universidade Técnica de Lisboa, e a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

O IDMEC é constituído por dois Pólos: em Lisboa, no Instituto Superior Técnico, e no Porto, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, dotados de autonomia administrativa e financeira, sendo que cada Pólo tem órgãos científicos e de gestão próprios. Cada Pólo está organizado em Centros de Investigação:

Pólo do IST
Centro de Projecto Mecânico
Centro de Sistemas Inteligentes
Centro de Tecnologia Mecânica e Gestão Industrial
Centro de Energia e Mecânica de Fluidos

Em Junho de 2008 foi criado o LAETA - Laboratório Associado de Energia, Transportes e Aeronáutica. O LAETA é um consórcio liderado pelo IDMEC, com 6 Unidades de Investigação e 230 Doutorados, sendo que 98 são do IDMEC- Pólo IST.

Unidades de Investigação do LAETA:
- Instituto de Engenharia Mecânica, Pólo do Instituto Superior Técnico
- Instituto de Engenharia Mecânica, Pólo da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- Laboratório de Aerodinâmica Industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
- Centro de Ciências e Tecnologias Aeronáuticas e Espaciais, Instituto Superior Técnico
- Centro de Aeronáutica e Astronáutica, Universidade da Beira Interior

Objectivos e Missão
Os objectivos do IDMEC são o exercício de actividades de investigação científica fundamental e aplicada, de desenvolvimento experimental, de inovação tecnológica, de formação profissional, de pós-graduação e de prestação de serviços no âmbito da engenharia mecânica.

A missão do LAETA desenvolve-se em torno da investigação científica e tecnológica em consórcios de investigação nacionais e internacionais, da transferência de tecnologia para as empresas e da formação de engenheiros altamente qualificados e com uma forte exposição a I&D de base tecnológica.

Governação: O IDMEC/IST é gerido por uma Comissão Coordenadora, composta pelo Presidente e Vice-Presidente do Instituto e pelo Coordenador de cada Centro;

Prof. Carlos A. Mota Soares	**> (Presidente)**
Prof. José Carlos Pereira	**> (Vice Presidente)**
Prof. Hélder C. Rodrigues	**> (Coordenador do Centro de Projecto Mecânico)**
Prof. Paulo Firme Martins	**> (Coordenador do Centro de Tecnologia Mecânica e Gestão Industrial)**
Prof. José Sá da Costa	**> (Coordenador do Centro de Sistemas Inteligentes)**
Prof. Mário Costa	**> (Coordenador do Centro de Energia e Mecânica de Fluidos)**

O Instituto de Sistemas e Robótica (ISR-Lisboa) é uma unidade de investigação e desenvolvimento (I&D) de base universitária onde são desenvolvidas atividades de investigação multidisciplinar avançada nas áreas da Robótica e Processamento de Informação, incluindo Teoria de Sistemas e Controlo, Processamento de Sinal e Imagem, Visão por Computador, Sistemas Biomédicos, Inteligência Artificial e Sistemas Inteligentes. Resultados dessa investigação são aplicados em áreas como os sistemas robóticos aéreos, terrestres e oceanográficos autónomos, robôs de busca e salvamento, robôs auxiliares que interagem naturalmente com humanos, comunicações móveis, sistemas multimédia e imagem médica.

Ex-estudantes e investigadores do ISR-Lisboa são atualmente professores em universidades norte-americanas e europeias, ou têm posições seniores em empresas nacionais e internacionais, tendo ainda criado 6 spinoffs (IdMind, Observit, Blue Edge, Albatroz, Self Tech, Reverse Engineering) em áreas afins às da sua I&D.

O ISR-Lisboa tem um registo antigo e notável de atividades de divulgação e promoção da cultura científica, nomeadamente usando a robótica para incentivar os jovens a estudar ciências e tecnologia e a seguir carreiras científicas, bem como para demonstrar a importância da investigação na educação para a vida, tendo estado na vanguarda de uma infinidade de projetos e atividades do Ciência Viva, incluindo ocupação científica de jovens nas férias e projetos com escolas do ensino secundário e profissional.

Desde 1996, o ISR-Lisboa é sujeito a avaliações periódicas, por painéis internacionais de cientistas independentes organizados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, tendo sempre obtido a classificação máxima de Excelente. Em conjunto com o IN +, o CAMGSD, unidades de I&D do IST, o CREMINER da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, o Centro do IMAR da Universidade dos Açores e o MITI da Universidade da Madeira, o ISR-Lisboa faz parte desde 2011 do Laboratório Associado LARSyS (Laboratório de Robótica e Sistemas em Engenharia e Ciência).

Crédito Formação BPI/AEIST

O seu parceiro de estudo.

Invista na sua formação com o BPI. Com prestações mensais muito reduzidas, o Crédito Formação BPI/AEIST **(TAEG de 4,2%)**[1] oferece condições especiais aos sócios da AEIST, para financiar as suas despesas com Licenciaturas, Pós-Graduações, Mestrados ou Doutoramentos, em Portugal e no estrangeiro, nomeadamente pagamento de propinas, material didáctico, viagens e estadias.

[1] TAEG de 4,2%, mensalidade de € 302,67 para um financiamento de € 30.000 a 120 meses, sem período de carência e com taxa de juro indexada à Euribor a 3 meses (0,274%) + spread de 3,5%. Montante total imputável ao Cliente de € 36.620,40. Valores válidos em Janeiro de 2014.

Toda a informação no Balcão BPI do Instituto Superior Técnico e 800 22 10 22 (linha grátis com atendimento personalizado, das 7h às 24h).

BPI

aeist
associação dos estudantes
instituto superior técnico

Av. Rovisco Pais
Instituto Superior Técnico
Pavilhão da Associação dos Estudantes
1049-001 Lisboa
Tel (+351) 21 841 72 48 Fax (+351) 21 841 72 50
aeist@ae.ist.utl.pt www.aeist.pt